

---

Le geste  
comme repère terrestre en apesanteur

---

## Sommaire

Préface 5

Initiation à l'Architecture Spatiale [extraits de mémoire]

Les contraintes environnementales 8

Caractéristiques psychologiques et sociales 13

Un travail de tâtonnement par les pionniers de l'Architecture Spatiale : Galina  
Balachova et Raymond Loewe 20

Entretien avec une architecte spatiale : Sandra Häuplik-Meusburger 28

Le projet

1. La vie à bord de l'ISS 37

2. Retours d'expériences 69

3. Interrogation de la forme et de l'espace 79

4. Interrogation du programme 97

Hypothèse 111

---

## Préface

J'ai découvert l'architecture spatiale lors des recherches pour mon mémoire sur les habitats futuristes. Le caractère unique et extrême de l'environnement spatial ainsi que son implication sur l'architecture des habitats à tout de suite retenue mon attention. Le terme d'architecture spatiale définit la théorie et la pratique de la conception et de la construction d'environnement habité dans l'Espace et sur d'autres corps célestes. Les stations spatiales sont les seuls habitats de moyen terme (car aucun habitat de long terme n'existe encore) dont nous possédons plusieurs décennies de retours d'expériences. J'ai donc précisé le sujet de mémoire sur le rôle des architectes dans la construction des stations spatiales.

Dans le cadre de mes recherches, j'ai eu l'occasion de faire l'entretien d'une architecte et auteure de l'architecture spatiale : Sandra Häuplik-Meusburger. Cette discussion fut des plus inspirantes. S. Häuplik-Meusburger m'invita à participer au Congrès International de l'Aérospatiale ainsi qu'au Symposium de l'Architecture Spatiale tous deux se déroulant à Paris en 2022, où je pu enfin la rencontrer en vrai. Ces événements ont été une expérience inoubliable au cours desquels j'ai eu l'occasion de rencontrer tout le réseau, petit mais international, d'architectes spatiaux. J'ai aussi fait la rencontre d'autres jeunes actifs et étudiants de divers secteurs passionnés d'aérospatial qui m'ont fait découvrir le Space Generation Advisory Council (organisation internationale en soutien aux affaires spatiales des Nations Unies). J'y suis maintenant membre en tant que designer graphique du workshop européen et j'y monte également un groupe de projet.

Ce PFE est pour moi une occasion de poursuivre mes recherches sur l'architecture spatiale ainsi que de mettre pour la première fois en pratique mes connaissances acquises au cours de ces deux dernières années.

---

# Initiation à l'Architecture Spatiale [extraits de mémoire]

---

Architecture spatiale, n.f. :

*Théorie et pratique du design et de la construction d'environnement habité dans  
l'Espace.*

(World Space Congress, Houston, 2002)

## Les contraintes environnementales

Selon la connaissance humaine actuelle, l'Espace serait l'ICE le plus extrême. L'architecte doit assimiler les contraintes de cet environnement car celles-ci influencent de manière majeure l'architecture spatiale. Voici la liste des caractéristiques spatiales majeures auxquelles l'architecte doit faire face selon l'AIAA (American Institute of Aeronautics and Astronautics).

### L'apesanteur

La caractéristique la plus notable de l'environnement spatial est l'absence de gravité, aussi appelée apesanteur ou microgravité. De l'absence de gravité résulte un flottement des corps et des objets. En termes de structure, cela se traduit par l'absence de descente de charges. Les efforts du corps humain sont considérablement réduits. N'étant plus aussi sollicités, les muscles et le cœur faiblissent, les os perdent en densité, les poumons et les reins changent. Les fluides du corps se déplacent différemment provoquant des nausées (dus à la perte d'orientation de l'oreille interne), perte partielle du goût, de l'odorat et de l'appétit<sup>1</sup>. Le corps humain est mis à l'épreuve par la nouveauté que les caractéristiques de l'environnement spatial présentent. Certains effets sont une tentative d'adaptation du corps à son environnement. Par exemple, la force nécessaire pour se déplacer en apesanteur est infime et explique l'atrophie musculaire observée chez les astronautes. Des remèdes pharmaceutiques font l'objet de recherches mais n'ont pas encore prouvé leur efficacité. L'exercice est pour l'instant la solution la plus efficace pour garder un corps sain en micropesanteur. L'environnement en apesanteur redéfinit les positions statiques. Effectivement, le corps flotte dans l'espace et prend une position fœtale. En position neutre (fig.1), toutes les articulations du corps sont légèrement pliées et le cou penche vers l'avant. Le moindre mouvement a des conséquences. Pour y remédier, les architectes et les ingénieurs cherchent à rétablir la verticalité que nous trouvons sur Terre afin d'offrir des repères au corps. Il faut alors construire des espaces en adéquation et inventer différents types de maintien du corps pour chaque activité.

<sup>1</sup> HOWE, A. Scott, SHERWOOD, Brent, *Out of this world : The new field of space architecture* (p.25), American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009

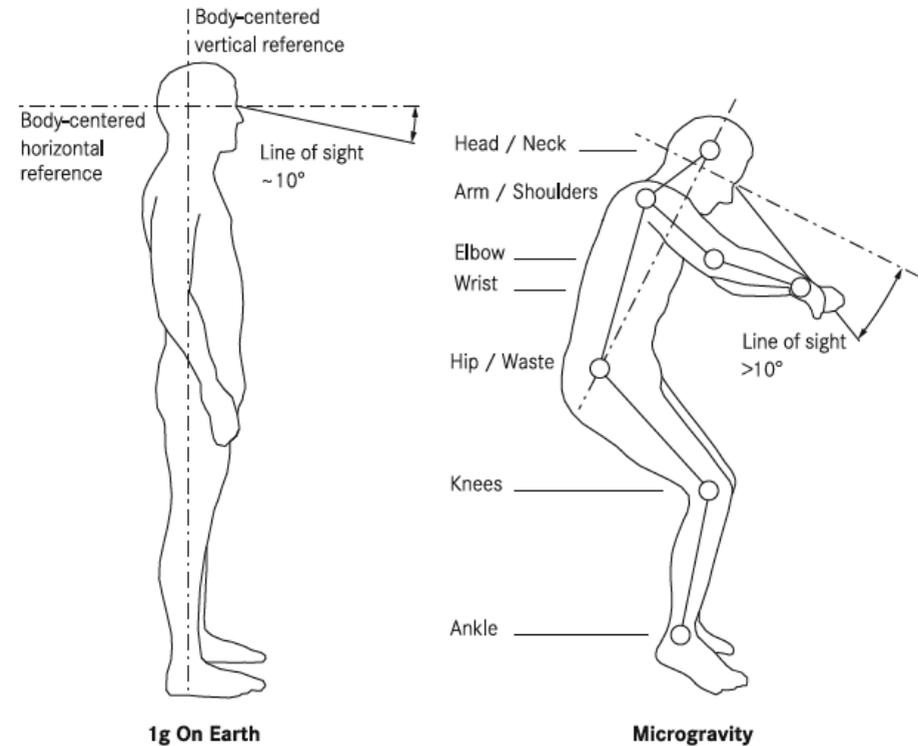


Figure 1 : Comparaison entre le position neutre en gravité terrestre et en apesanteur (Source : S.Häuplik-Meusburger)

## Débris orbitaux

Les objets en orbite autour de la Terre se déplacent à 7 km/sec en moyenne s'ils se situent en dehors d'un module pressurisé. Une partie se situe entre 160 km et 2000 km de la surface de la Terre, altitude appelée LEO (Low Earth Orbit). Les stations spatiales se trouvent dans ce cas de figure. En orbite, les objets sont en constante chute libre et ne cessent de tourner sur eux-même. L'ISS, bien que stabilisée, voit son orientation et son altitude régulièrement rectifiées<sup>2</sup>.

A cette vitesse, le moindre débris représente un danger. Ces derniers sont très nombreux et varient de la taille d'un satellite abandonné à des poussières générées par la collision d'objets plus gros. Ce type d'évènement est problématique car il démultiplie le nombre de débris et accroît leur vitesse des débris. L'Espace environnant la Terre a fait office de déchetterie durant 70 ans, si bien que les débris sont une raison toute aussi importante de déplacement de l'ISS. Depuis quelques années, on remarque une prise de conscience du danger que représente l'accumulation grandissante des débris spatiaux. L'ESA est devenue leader en matière de réglementations de nettoyage spatial, imposant au sein des agences et entreprises européennes le retrait de l'orbite du matériel devenu obsolète.

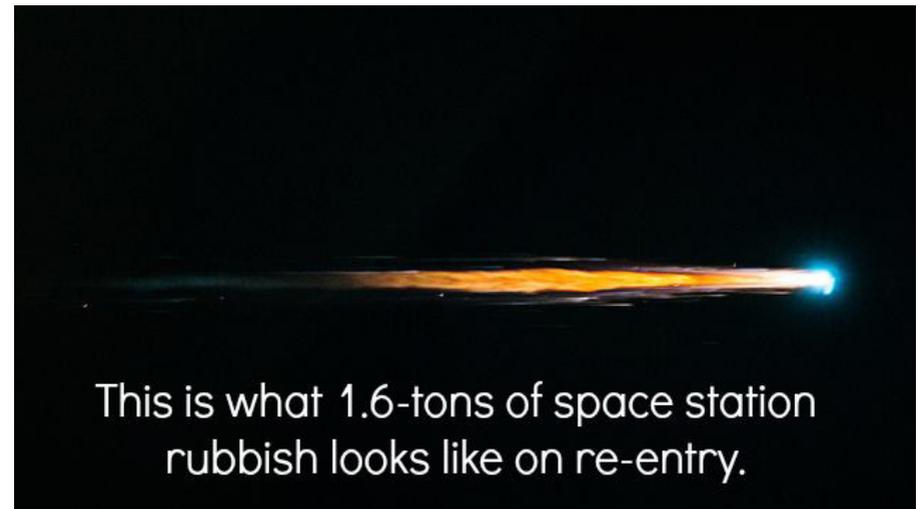
Les débris orbitaux représentent donc un problème majeur dans le design d'habitats spatiaux. L'enveloppe extérieure des stations spatiales doit donc être d'une extrême résistance afin de protéger les astronautes d'objets se déplaçant à des vitesses de plusieurs kilomètres par seconde et souvent de forme acérée.

<sup>2</sup> HOWE, A. Scott, SHERWOOD, Brent, *Out of this world : The new field of space architecture* (p.7, 25 et 26), American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009

## Vide spatial

La pression atmosphérique de l'Espace est de 0 bar et est appelée vide spatial ou "vacuum" en anglais. Ce vide est plusieurs fois plus important que n'importe quel vide artificiel que l'on peut créer dans les chambres à vide de laboratoire<sup>3</sup>. Outre le danger lié au manque d'oxygène, l'exposition directe du corps au vide spatial engendrerait l'ébullition de tous les fluides du corps ainsi que l'expansion extrême de ses tissus. Lorsque les astronautes doivent s'aventurer en dehors de la station (sortie extravéhiculaire appelé EVA), les astronautes doivent donc porter un scaphandre qui leur permet de conserver une pression identique à celle de la Terre. On retrouve un phénomène similaire chez les plongeurs dans le cas d'une remontée trop rapide dans laquelle leur poumons peuvent éclater compte tenu de la différence de pression entre les profondeurs et la surface. La différence entre la pression terrestre et spatiale impose donc la pressurisation de tous les modules dans les parties accessibles.

Dans l'Espace, le son ne se diffuse pas car les ondes mécaniques ne peuvent se dissiper directement dans le vide. Ainsi, les sons sont réverbérés dans toute la structure de la station, se dissipant au fur et à mesure.



<sup>3</sup> HOWE, A. Scott, SHERWOOD, Brent, *Out of this world : The new field of space architecture* (p. 26), American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009

## Rayonnements

Dans l'Espace, la lumière du soleil n'est pas filtrée par l'atmosphère comme sur Terre. Les astronautes sont exposés à une portion plus large du spectre lumineux et notamment à une grande intensité de lumière ultraviolette. Cette intensité de lumière peut dégrader le matériel, endommager les tissus organiques et altérer l'ADN<sup>4</sup>.

Les rayons cosmiques sont un flux très rapide de particules à haute énergie venant de tout l'univers. Ce rayonnement est très nocif pour l'homme car il tue ou fait muter les cellules. Les effets les plus connus sont la cataracte, le cancer et la stérilité. Le principal danger se trouve sur le long terme. Effectivement, nous possédons encore peu de connaissances sur le sujet. Les mutations qui en découlent peuvent sauter une génération et se manifester dans la descendance de la personne exposée. A titre de comparaison, le séjour d'un astronaute dans l'Espace durant un an équivaut à l'exposition autorisée que reçoit à vie un travailleur sous rayonnement. Les objets en orbite sont cependant protégés des vents solaires (particules émises par le soleil) par le champ magnétique de la Terre.

Selon l'exposition au soleil, la température extérieure de l'ISS varie entre -150° et +150°C. Etant donné que la station fait 16 fois le tour de la Terre par jour, elle subit donc 32 chocs thermiques par jour. Ainsi, le choix des matériaux doit être fait en fonction de leur résistance aux rayonnements et aux changements de température et leur capacité à les bloquer.

L'architecture spatiale est un nouveau secteur niche dans lequel quelques architectes s'aventurent par passion et curiosité. Cependant, ce secteur riche en technologie, dû à la complexité de son environnement, requiert une prise de connaissance de ces facteurs par les concepteurs arrivants. Certains architectes-ingénieurs font la passerelle entre ces deux domaines afin de transmettre aux architectes un résumé simplifié mais extensif des facteurs environnementaux et de leurs conséquences physiques. Nous pouvons retenir quatre contraintes environnementales majeures qui régissent l'Architecture Spatiale orbitale : l'apesanteur, les débris orbitaux, le vide spatial et les rayonnements.<sup>2</sup>

<sup>4</sup> *idem* 3

## Caractéristiques psychologiques et sociales

Nous avons introduit précédemment les caractéristiques environnementales qui font de l'Espace un environnement physiquement difficile pour les astronautes. A ces difficultés s'ajoute celles psychologiques et sociales. Effectivement, l'Espace, comme d'autres environnements terrestres extrêmes tels que l'Antarctique ou les espaces sous-marins, se caractérisent aussi par le confinement et l'isolement forcé de leurs habitants. Ce type d'environnement est nommé Environnements extrêmes en Confinement et Isolement (ICE) et met psychologiquement à l'épreuve les micro sociétés qui y habitent.

### Un inconfort de survie

Le premier homme à habiter l'Espace, Youri Gagarine, fit part de l'importance du facteur psychologique dans les séjours spatiaux au travers de son livre appelé *Espace et Survie*<sup>5</sup>. Les premiers programmes spatiaux se déroulaient dans de véritables conditions de survie où même la réponse aux besoins vitaux était insuffisante. Par exemple, les astronautes des missions Apollo, ne possédaient pas de sanitaires et avaient recours à des sacs plastiques. Ce processus manquant d'intimité, aurait aussi posé un problème pratique d'utilisation pour les membres féminins pour un équipage hypothétiquement mixte. En outre, la taille du Module Lunaire (LM) ne laissait pas la place nécessaire à la position allongée pour dormir. Lors de la réédition de son livre, Youri Gagarine intitula son livre *Espace et Psychologie*. Le confort psychologique des astronautes semble effectivement de plus en plus crucial avec l'allongement de la durée des missions. Un confort de survie ne saurait être durable pour le bon aboutissement des missions futures, notamment pour celle de l'installation humaine sur Mars.

*"Les premiers vaisseaux spatiaux avaient été conçus pour être exploités et non habités."*<sup>6</sup>

<sup>5</sup> GAGARIN, Yuri; LEBEDEV, Vladimir, *Survival and Space*, Edité par Bantam Books, 1969

<sup>6</sup> COMPTON, W. D., BENSON, C. D., *Living and working in space, a history of Skylab* (p.130), NASA, Washington, 1983

## Les facteurs psychologiques et sociaux des ICE

Selon les recherches de Jason Kring<sup>7</sup>, les ICEs se caractérisent par trois facteurs de difficultés: l'hostilité environnementale, les variables psychologiques qui influencent les réactions d'un individu ainsi que les relations individuelles et communautaires des habitants vivant et travaillant dans un même environnement. Ces derniers doivent faire preuve d'une grande adaptation physique, comportementale et psychologique afin de vivre de manière saine et vertueuse dans ces environnements extrêmes. Avec la perturbation physique, liée aux propriétés environnementales qu'éprouvent les astronautes, ceux-ci peuvent ressentir un inconfort psychologique dû à l'étrangeté de l'environnement extraterrestre. Il est possible d'établir une liste relevant de nombreuses sources d'inconforts psychologiques et sociaux<sup>8</sup> :

- isolation et confinement dans un environnement hostile
- proximité entre habitant
- distance avec le groupe social d'origine d'un habitant
- baisse d'intimité
- interactions forcées avec un groupe de personnes limité et souvent multiculturel
- dépendance des besoins vitaux à la technologie
- déconnexion avec la Nature
- absence de la famille
- tâches répétitive qui peuvent sembler perdre leur sens
- manque de stimulation et ennui

Tous les éléments cités ci-dessus mènent à un inconfort psychologique pouvant aussi mener à des tensions sociales. Dans ces environnements restreints, les habitants se retrouvent à devoir interagir avec un nombre limité de personnes, sans avoir moyen d'aller "prendre l'air".

7 KRING, J., "Human performance in extreme environments", dans DAVIS, S.F., BUSKIST, W., 21st Century psychology – A reference handbook (pp. 210–219). Newbury Park, CA: Sage. (2008)  
8 HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, BISHOP, Sheryl, *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (p. 2), Vienne, S.Bishop, Springer, 2021

## Intimité

Le problème de l'intimité s'accroît avec la durée des séjours. Par exemple, pour les missions Apollo, qui duraient une dizaine de jours, les astronautes n'avaient aucune intimité, pas même pour se laver. Les équipages, composés de pilotes d'essais, ont affirmé ne pas avoir rencontré d'ennui à cela<sup>9</sup>. Bien que des douches aient été testées dans les trois premières stations spatiales (Saliout, MIR et Skylab), aucune des tentatives ne fut fructueuse. Aujourd'hui, à bord de l'ISS, les astronautes prennent des douches à la lingette. Il semble important de trouver une solution pérenne pour les prochaines missions annuelles qui se dérouleront sur Mars.

A bord des stations spatiales, on peut retrouver des espaces personnels coupés visuellement des autres, tels que les quartiers résidentiels. Toutefois, la séparation auditive et olfactive est moins bien établie. La présence de ses voisins se ressent donc par exemple par les ronflements, un appel avec les proches restés sur Terre ou les odeurs corporelles.

## Espace et relations sociales

Dans un espace limité dont on ne peut sortir, sa perception peut vite paraître bondée. Sur Terre, la place ne manque pas et il suffit de se déplacer autre part pour retrouver une distanciation sociale. Dans l'Espace, la barrière invisible de l'espace public existe difficilement. Les habitants se retrouvent à chevaucher sans cesse les espaces sociaux et personnels des autres. Il faut apprendre à concevoir l'espace de manière à retrouver ses sphères sociale et personnelle.

9 SCHMITT, Harrison, interview non publié, HÄUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, Vienna, Austria, 2009 dans HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, BISHOP, Sheryl, *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (p. 221), Vienne, S.Bishop, Springer, 2021

## Ennui et monotonie

A bord de la station, la monotonie est induite par le nombre réduit de personnes, le manque d'activité et un environnement immuable. La monotonie d'un milieu restreint est un facteur majeur d'ennui et donc de sensation de confinement. Certains psychologues, tel que Vladimir Gushin de l'Institut Russe des Problèmes Biomédicaux<sup>10</sup>, affirment que le problème à bord de la station spatiale n'est pas le confinement mais le manque de stimuli. Un aménagement flexible permettrait donc de réduire à la fois la monotonie et le sentiment d'espace impersonnel. Les vues vers l'extérieur sont une autre source de divertissement. Les paysages changent très rapidement puisque l'ISS fait 16 fois le tour de la Terre par jour.

## Espace visuel

Le design neutre et fonctionnel des stations spatiales renvoie une impression de froideur à l'égard de ses habitants. Outre l'esthétique, l'espace intérieur est chargé visuellement, provoquant de ce fait un sentiment oppressant. En phase de planification, les surfaces sont agencées de manière efficace par les ingénieurs et l'espace semble spacieux. Après la mise en service et à mesure du passage des équipages, l'espace se transforme car les astronautes s'approprient de manière incrémentale leur habitat. L'impact de cette complexité visuelle est la baisse de l'attention et l'anxiété.

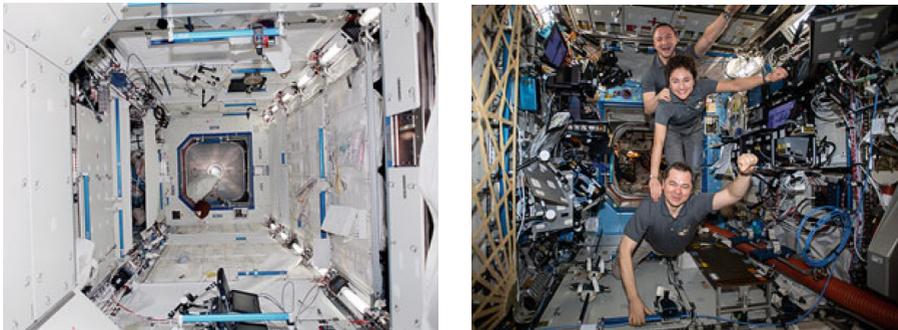


Photo du module Destiny dans l'ISS juste après son déploiement en orbite en 2001 puis en 2020 (Source : NASA)

<sup>10</sup> HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, BISHOP, Sheryl, *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (p. 214), Vienne, S.Bishop, Springer, 2021

## Absence de nature

La nature présente dans les habitats spatiaux est bien différente de celle que l'on peut trouver sur Terre. Une technique très courante est l'aquaponie. C'est une culture hors sol, utilisée aussi sur Terre, qui permet de faire pousser les plantes dans de l'eau et non dans du substrat. Malgré cette relative artificialité des plantes spatiales, elles apportent un double réconfort autant visuel que gustatif.

La première serre, nommée OASIS (fig.3), fut installée à bord de la Station Saliout en 1971. Les cosmonautes testèrent la culture de différents légumes, tels que des oignons, des tomates, des concombres et de la laitue. En 1975, le premier légume cultivé en apesanteur fut mangé à bord de la station. L'astronaute Valentin Lebedev considérait ces plantes comme des animaux de compagnie. Il avait même relocalisé son sac de couchage à côté de la serre afin de pouvoir admirer les plantes en s'endormant<sup>11</sup>.



Fig.3 : Photo du cosmonaute Victor Savinykh avec sa "plante" a bord de Saliout 6, 1977 (Source : TASS par Victor Savinykh)

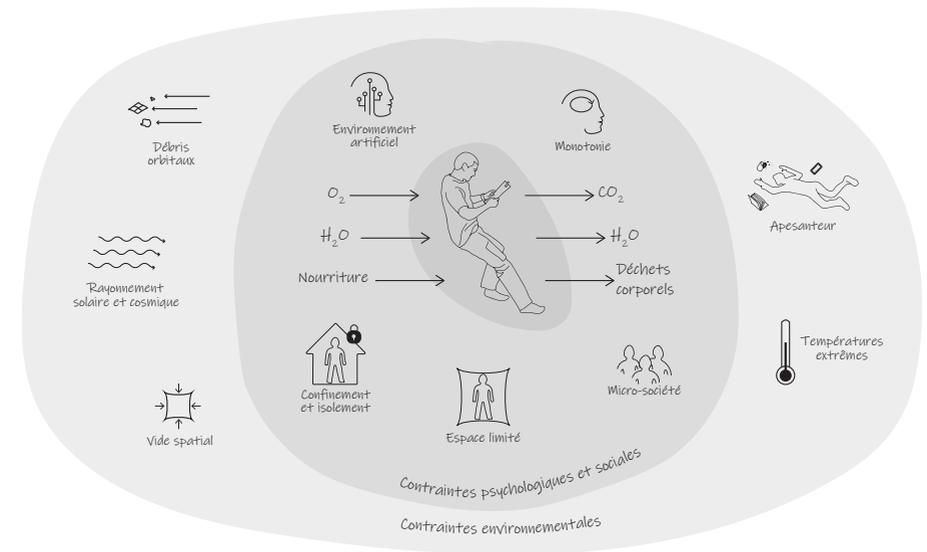
<sup>11</sup> LEBEDEV, V., *Diary of a cosmonaut – 211 days in Space*, Bantam Air & Space Series, New York, 1990

## Communication

Selon l'astronaute Valentin Lebedev<sup>12</sup>, la communication entre les membres de l'équipage et avec Mission Control a été la plus grande difficulté durant son séjour spatial à bord de la Station MIR en 1983. Il nota que 30% des jours de la mission recouvrait un conflit. La majorité des conflits internes à l'équipage concernent principalement la routine et les tâches futiles telles que la gestion des ressources, le ménage ou l'hygiène. La communication avec les équipes au sol est une autre source de désaccord. On a pu remarquer une hostilité développée à l'égard de Mission Control<sup>13</sup>. Cela s'explique par le manque d'expériences et de compréhension des équipes au sol face aux difficultés que rencontrent les astronautes. L'événement le plus marquant fut la mutinerie de 1973 des astronautes de Skylab face au planning surchargé de travail imposé par Mission Control. L'équipe des trois astronautes cessa à titre de protestation la communication avec la Terre durant presque 30 minutes.

De manière assez pratique, la communication avec les habitants peut être difficile à cause de la latence. Effectivement, avec l'éloignement le délai s'accroît et le signal perd en qualité. Pour l'instant, cette latence est négligeable avec la proximité de l'ISS. Pour Mars, la latence serait de 4 minutes lorsque les deux planètes sont au plus proches et de 24 minutes à leur point le plus éloigné. Cependant, avec la Lune, le délai n'est que de trois secondes. La difficulté que représente la Lune est le silence de communication lorsqu'on l'on se trouve du côté opposé à la Terre.

Bien que les contraintes environnementales de l'Espace semblent plus évidentes que les contraintes psychologiques et sociales, ces dernières sont plus nombreuses et concernent tout particulièrement le métier d'architecte spatial.



<sup>12</sup> HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, BISHOP, Sheryl, *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (p. 214), Vienne, S.Bishop, Springer, 2021

<sup>13</sup> HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, BISHOP, Sheryl, *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (p. 230), Vienne, S.Bishop, Springer, 2021

## Un travail de tâtonnement par les pionniers de l'Architecture Spatiale

### 1) Galina Balachova : le travail de l'orientation par la couleur

La première architecte spatiale est Galina Balachova. De formation architecte, elle intègre le OKB-1 (Soviet Experimental Design Bureau) en 1957 à Korolyov. Son travail consiste à s'occuper de la rénovation des bâtiments et de l'urbanisation de la ville. En 1963, elle est approchée secrètement par Sergueï Korolev du département d'aéronautique (ingénieur et fondateur du programme spatial soviétique). Ce dernier prend conscience tôt que la dimension du confort dans le design des vaisseaux spatiaux soviétiques est importante pour la santé des astronautes. Il observe que les ingénieurs spatiaux ont designé des boîtes métalliques peintes de couleur agressive à l'intérieur. C'est pour cette raison qu'il invite G.Balachova à intégrer le programme spatial de l'OKB-1 en 1963 dans l'optique de concevoir l'intérieur de vaisseaux Soyouz (fig.3). Le supérieur de son ancien département lui avait interdit de participer au programme spatial, elle devra donc travailler chez elle durant un an, dans le plus grand des secrets. En 1966, pour le programme lunaire, S.Korolev institue G.Balachova chef architecte du département d'aéronautique<sup>14</sup>, instaurant officiellement la toute première architecte spatiale de l'histoire. Au cours de son travail, G.Balachova découvre par elle-même les principes basiques de conception architecturale dans un environnement sans gravité. Elle accomplit de grands progrès sur l'orientation du corps dans un espace en microgravité.

#### Orientation du corps par la couleur et la matérialité

Le premier principe instauré par Galina Balachova durant son travail sur les vaisseaux Soyouz est de penser le design intérieur comme s'il y avait de la gravité, c'est-à-dire à projeter des murs, un sol et un plafond. Sans ces repères élémentaires, le corps humain est incapable de s'orienter et un inconfort psychologique voir physique peut s'intaller. La solution apportée

<sup>14</sup> BALACHOVA Galina par MEUSER Paul dans *Architectural Guide, Moon*, Berlin, DOM Publisher, 2019

par G.Balachova est très simple : attribuer des couleurs contrastées au sol, au plafond et aux murs afin de les repérer facilement. La couleur sombre attribuée donne une impression de lourdeur pour signifier le sol et à l'opposé le plafond se voit assigner une couleur claire. Le choix de couleur pour le sol se porte sur le vert car sa perception dans l'Espace ne change pas, contrairement au rouge qui semble noir.

Bien que travaillant seule et ayant beaucoup de liberté dans le design, G.Balachova exprime sa reconnaissance aux ingénieurs matériaux qui ont su la guider dans ses choix. L'aide de ces derniers influence son design. Elle remarque ainsi, durant la coopération des blocs soviétiques et américains sur le programme Soyouz, la différence de méthodologie qui en découle. Là où les soviétiques utilisent des velcros pour se maintenir en position, les américains intègrent des poignées de maintien dans leur design. Chacun des partis développe un outil de confort. Les premiers se sont penchés sur l'ambiance et les sensations de l'espace par leur attention portée sur la matérialité. Tandis que les deuxièmes ont poussé le design intégré et ont laissé un environnement métallique plus brutal.

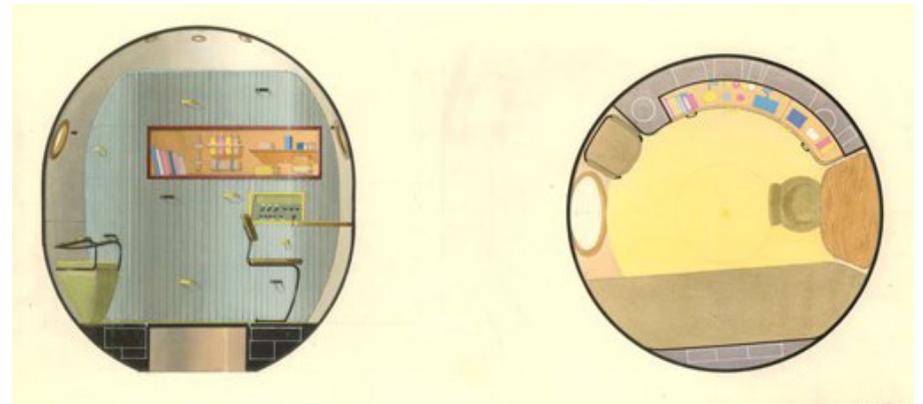


Fig.3 : Dessins initial du module Soyouz réalisé par Galina Balachova, aquarel (Source : Galina Balachova archives)

## Une partition de l'espace selon les usages

Durant la conception du module lunaire, le code couleur est aussi attribué à la signification des fonctions. Le sol et le plafond conservent leur couleur et le bleu est assigné à l'espace de travail. En effet, le volume attribué au travail est dès le premier programme spatial grandement majoritaire sur le reste. Lors de leurs missions, les astronautes vivent dans leur lieu de travail auxquels les ingénieurs ont simplement ajouté des équipements pour subvenir aux besoins vitaux. Grâce à la couleur bleue, G.Balachova vient délimiter visuellement l'espace décerné au travail de celui du lieu de vie. Durant son travail pour la station MIR (fig.4), l'architecte développe plus amplement la division des espaces par la couleur.

L'orientation du corps dans l'espace est assurée, en outre, par un design au plus proche de l'architecture terrestre. Selon G.Balachova, le but du design spatial est toujours le même : réaliser un espace confortable et habitable pour l'homme. Il devrait même être encore plus accentué, afin de compenser l'inconfort lié à l'apesanteur. Elle s'exprime clairement dans l'espace où l'astronaute peut dormir, où il peut manger, ... Effectivement l'apesanteur, même si elle allège le poids du corps, complique la manière de vivre et donc de penser l'espace.

Dans son premier design pour le vaisseau Soyouz, G.Balachova installe les fonctions essentielles, inspirées des designs terrestres : un lit sous la forme d'un sofa, des toilettes pouvant servir de siège lorsqu'elles sont fermées et un panneau de contrôle. Le volume devant être suffisant pour que l'astronaute puisse mettre et enlever sa combinaison. Lors de la présentation à Sergueï Korolev, ce dernier trouve le design pas assez moderne. Les réflexions architecturales sur les vaisseaux sont dès le début ancrées sur des références terrestres à partir du moment où le design intérieur est soigné par un autre corps de métier que les ingénieurs.

Son travail se situait en amont et en aval de celui des ingénieurs. S'ils avaient coopéré en même temps, les ingénieurs n'aurait jamais prêté attention à ses suggestions du fait de son métier et d'être une femme. Cependant, après la mort de S.Korolev en 1966, plus personne ne comprend le travail de G.Balachova et elle est assignée à des tâches moins intéressantes. Galina Balachova travaille pour l'OKB-1 de 1963 à 1991. Elle est la première et dernière architecte à avoir été employée en URSS pour le programme spatial.

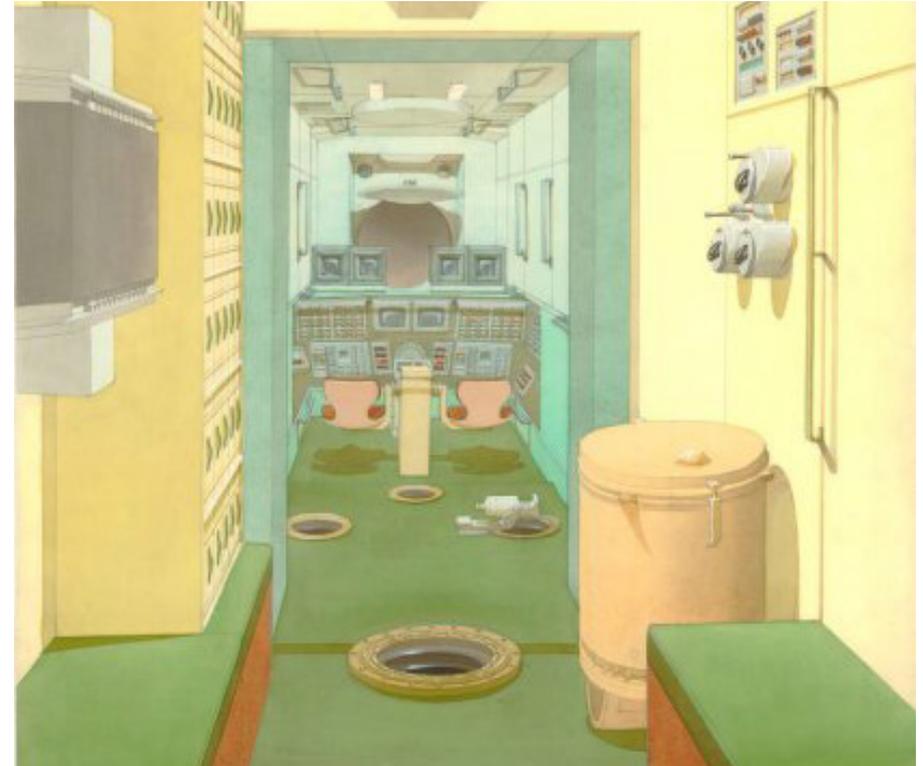


Fig.4 : Dessin pour la station MIR par Galina Balachova  
(Source : Galina Balachova archives)

## 2) Raymond Loewe : un confort passant par l'attention aux objets

Raymond Loewy est un designer industriel renommé, d'origine française et naturalisé américain. Le design du logo de la marque LU et de la bouteille Coca-Cola sont sûrement ses travaux les plus connus. Il ouvre une agence à son nom au début des années 1930 et en 1935, il ouvre un département spécialisé en architecture dont il confiera la direction à William Snaith<sup>15</sup>. Ce dernier, architecte de formation, deviendra son associé. C'est en 1967, qu'ils répondent ensemble à l'appel de la Nasa.

Durant l'étude de faisabilité de la future station spatiale américaine Skylab, la Nasa fait appel à des consultants externes et spécialisés dans le design d'espace. On observe une prise de conscience de la nécessité du confort de ces environnements jusqu'alors froids et mécaniques. Une philosophie des espaces pratiques et appréciables émerge. Elle permettrait de meilleures performances au travail. Certains visionnaires imaginent déjà une démocratisation de l'Espace. Dans cette optique, George Muller, qui est à la tête du bureau des vols habités de la Nasa et à qui nous devons le succès des missions Apollo, se voit chargé de cette mission. Il contacte donc Raymond Loewy et William Snaith. La demande formulée par la Nasa est d'imaginer un environnement assurant le support psychologique et physiologique, la sécurité et le confort des astronautes dans cet espace confiné. R.Loewy doit travailler à partir des premières études réalisées par la Nasa pour le nouveau projet. Les réponses sont ancrées dans le style futuriste de la fin des années 1960, présentant des couleurs vives et des formes molles. Le design rappelle fortement celui de *2001, l'Odyssée de l'espace* (1968) par Stanley Kubrick. Le rapport vient donc créer un pont entre la science et la science-fiction.

Le tandem Raymond Loewy et William Snaith répond à la Nasa avec un rapport d'habitabilité, d'une trentaine de pages, qu'ils exécutent tout au long de l'année 1972<sup>16</sup>. L'aspect plastique fortement assumé de leurs propositions empêche de retenir l'ensemble du design pour la version finale de la station spatiale. Cependant, cela mène à d'importantes réflexions sur la conception des espaces habitables en orbite. Leur travail a couvert de

<sup>15</sup> BOUTARD, François, *Raymond Loewy, le pionnier du design industriel*, Design Market Magazine, 2016

<sup>16</sup> LOEWY, Raymond, SNAITH, William, "Hability Study for orbital Shuttle", Nasa, 1972

vastes sujets, s'intéressant jusqu'aux combinaisons spatiales ou au sac de couchage des astronautes et s'intéressant à des designs de gravité artificielle hypothétique.

### Agencement général

L'innovation de la station spatiale Skylab passe par la partition des espaces selon leur fonction (fig.5). L'architecture terrestre admet depuis longtemps ce principe comme pierre de fondation. Cependant, les espaces spatiaux étaient jusqu'à présent trop limités pour en offrir la possibilité. Skylab représente 320m<sup>3</sup> contre un total de 10.5m<sup>3</sup> pour les deux modules qui composent les missions Apollos. Pourtant, les deux projets accueillent un équipage de trois personnes.

Loewy insiste sur la pratique et la cohésion que ce système apporterait. Il est essentiel que les objets puissent être rangés de manière ergonomique et facile d'accès afin d'être profitable au travail. Le confinement dans la capsule peut mener à des tensions entre les trois membres de l'équipage. Loewy a pour objectif d'améliorer les relations grâce au design des espaces. Il propose, par exemple, une table triangulaire afin qu'aucun membre ne puisse dominer la situation et que l'égalité puisse s'installer entre eux.

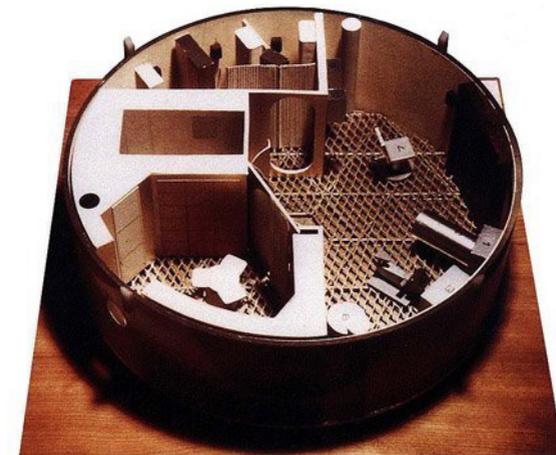


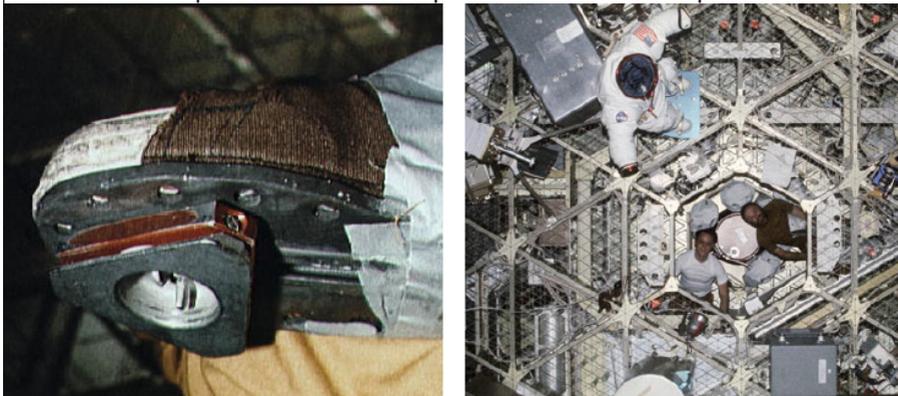
Fig.5 : Maquette du design final de Skylab réalisée par Raymond Loewy (Source : Raymond Loewy archives)

Face à l'environnement froid et sombre proposé par les ingénieurs de la Nasa, les designers proposent un fond neutre jaune pâle afin d'apporter une ambiance chaleureuse et rassurante. Ils proposent ensuite un code de couleurs vives afin de repérer plus facilement les objets. Cette codification est sûrement issue de l'observation du module soviétique lors du programme coopératif Soyouz-Apollo. Ce système a su faire ses preuves et est toujours en utilisation aujourd'hui à bord de la station spatiale internationale. Effectivement, les astronautes se voient assignés une couleur avec laquelle chacune de leurs affaires est marquée à l'aide d'un velcro coloré.

### Le maintien

L'environnement en apesanteur redéfinit les circulations et les positions statiques. Effectivement, le corps flotte dans l'espace et prend une position fœtale. En position neutre, toutes les articulations du corps sont légèrement pliées et le cou est penché vers l'avant. Le moindre mouvement a des conséquences. Pour y remédier, Loewy invente différents types de maintiens pour chaque activité. Il veut tenter de rétablir la verticalité que nous trouvons sur Terre afin d'offrir des repères au corps.

La station est composée de différents niveaux à l'instar d'une tour. On doit se propulser d'un étage à l'autre par un trou central. Chaque niveau de sol est composé d'une grille (fig.6b) sur laquelle on peut se déplacer de manière contrôlée grâce à des chaussures à crampons triangulaires qui s'y agrippent (fig.6a). Après les avoir expérimentées, l'équipage préféra se déplacer librement et abandonna les chaussures. On peut retrouver de manière régulière ce schéma de dissociation entre l'usage imaginé par son designer et son réel usage. Loewy avait une vision particulièrement utopiste de l'architecture spatiale.



### La fenêtre

La vision sur la Terre est un élément primordial au soutien psychologique. Elle permet d'offrir une ouverture vers l'extérieur et d'échapper à un potentiel sentiment de confinement. La constante vision sur la Terre offre une présence reconfortante. Les journées sont cependant très courtes. Le soleil se lève toutes les heures et demie, ce qui correspond à 16 tours autour par jour de la Terre. Loewy est le premier à prescrire une fenêtre pour la station (fig.7) et décide de la placer dans la cuisine. L'image de la vue sur notre planète, depuis l'intérieur d'un objet spatial, est aujourd'hui emblématique.

L'entrée des designers d'espace dans le secteur aérospatial prend source dans la nécessité d'améliorer les conditions de vie à bord des constructions spatiales, en vue de séjour plus longs en orbite. Des figures visionnaires, tel que Raymond Loewy, ont su apporter un regard novateur sur les aménagements pour les astronautes. Des systèmes simples et efficaces améliorent de manière significative la vie des astronautes.

Fig.6a : Gauche, chaussures à crampons triangulaire venant se fixer sur le grillage de même géométrie de la station

Fig.6b : Gauche, photo de Skylab depuis le dôme montrant les trois "étages de grillage"

Fig.7 : Droite, photos des astronautes Joseph P. Kerwin, Paul J. Weitz et Charles Conrad s'entraînant à utiliser la table de Skylab. En arrière plan, la large fenêtre en forme circulaire.

(Source : NASA)



---

Entretien avec une architecte spatiale :  
Sandra Häuplik-Meusburger

Sandra Häuplik-Meusburger est architecte spatiale et auteure des livres *Architecture for astronauts, an activity based approach* (2011), *Space Architecture Education for engineers and architects* (2016) et *Space Habitats and Habitability : Designing for Isolated and Confined Environments on Earth and in Space* (2021). Dans le cadre de mon mémoire, elle m'accorda un entretien vidéo-téléphonique et je pu la rencontrer en septembre 2022 au Congrès International de l'Aérospatial (IAC) à Paris.

*How did you discover space architecture and what was your personal path?*

It was not the direct way as you can imagine maybe, I started because I am interested in the relationship between human and build space. And following my path for the diploma and my dissertation, I wanted to examine it in the most extreme environment, and it happened to be in Space. So, this led to my first book *Space Architecture for astronauts* where I interview some astronauts in relation to the lift in Space. And you know one storm is after the other storm and ... Now I am teaching at the TU Wien where I do projects. That's the short version. But actually, if you are interested, I'm posting a website of our community. Do the [Spacearchitecture.org](http://Spacearchitecture.org) ?

*Yes, I do ! That's actually how I discovered my references for Space Architecture*

And you can see that we have different path of career depending on where you are from. So, for example in the US, they have a different path because they have a different educational system. As in Europe and also Asia, and you will see a lot of different stories. But one important thing is that it's a new path and you have to make one. If there is none, YOU have to make one. It's not a path that have been made in the past and you can walk easily.

*Yes it's not an obvious path, except perhaps for the master in Houston. I think there is only one Space Architecture degree.*

But still after the master, you don't know what you are doing. You still need to find your way to see things, to see the project, how to integrate it into your life. And there is many different path. One thing that is also important for me is that doing Space Architecture was not my goal. For me, it was the field of experimentation, what could learn from Architecture HERE for us humans on the planet. This is I think the most interesting part. Because there is after all not a lot of Space habitats to be built so it would be a shame to go to school, to University, to do a PhD if you can not give your knowledge to the people that live on Earth.

*This might be linked to the conclusion of my thesis. I came to the conclusion that the profession of Space architects, is not one of a practitioner but more of a theorist or a researcher. What would you say in your experience?*

I think this is an interesting question. I would say it's neither nor, similar to Architecture on Earth. I don't see ... I think it's important to build. I think it will be very important that the first the lunar base, a habitat, is made by someone that has experience in building. Because there is a lot of steps between a design, a prototype, and the actual building. And a lot of know-how also, in this transmission from head to plan, to model and then to the lift in Space. But similar to on Earth, there is a BIG research part in our work. And this is why I started Architecture actually and kept doing it because to my opinion every project is new. It depends on the humans who live there, who use it, it depends on the site, the country, the regulations. I think this is the interesting part. But in relation to Space Architecture, Yes, there is not a lot of example there, yet.

*I think you said that the first moon habitat should be made with architects. But, I thought that space stations like the ones you describe in your book are already Space Habitats. But, architects haven't really done anything yet. So ...*

I think it will be very necessary, because otherwise people can not survive. I just wrote a book with Sheryl Bishop where write on survival to thriving.

---

But I also think, the further you go away, the more you need a good space to live and work. And this is what we can do, this is what you learn. It's not about making things right for a specific task, it's also how you use it now and how you will use it in a few years. This is what architects can do, we can't really design efficient spaces that is habitable at the same time. It's not only a matter of size and square meters, but also how you include also all the parameters to construct on lighting, relationships, ...

*So do you think, for example the ISS, is habitable, in an architect's sense ? Or is it still like survival ?*

Well, I think the ISS is a beautiful piece of architecture, and also it is the only one that we have, and the Chinese also have it because it's a huge huge project. It's really something that we all, or many engineers and probably world class architects, realized so its worth it for sure, and works. But, because it's so close and because the astronauts are trained it's easier, so they can all do the job there. When we look forward to places where normal people will go or with less training. For example, the toilet from the tourists flight is in the news because it didn't work and because it was awful to use, and they had to wear diapers. If you miss things like this that are related to such normal human activity. You know that astronauts have to train how to use the toilets. It changes the people who go to Space, the reason people go to Space and the Architecture will be more relevant because you need this privacy. You need that place where you can be in your own space, whatever it is. And you also need space where you can socialize and meet. So there are some relevant architectural elements that need to be integrated and that are not necessarily seen by engineers.

*At this stage, are there some architects who are involved in the process of conception of the ISS ? I haven't seen any names, but I know that in the past some architects have been consulted like Galina Balachova and others. Are there today some consultants or even fully integrated architects?*

For example, the cupola is made by Thales Alenia Space. I had an internship there a long time ago, and they had a special habitability architectural department, and the leader of the department was an architect. They also had a psychologist there and ergonomists. They had on purpose different professions. They didn't work directly on architecture but on the ideas and the integrations. The Italian approach was, I think, the most human. I think

it is related to the history of Italian design. I mean it has always been great and grand. So, the approach of how to do things ... They have this ergonomic specialist, a psychologist, an architect and other people working on that idea [the cupola].

Then we have the deployable habitat, the beam habitat you know ? This is from Bigelow and Bigelow brought this concept from a tent to NASA. They developed it for NASA for the project Transhab. And Constance Adams and Chris Kennedy. Constance Adams also has beautiful papers. Unfortunately, she died a two years ago, very young, much too young. But she was one, for example. There always have been architects working on Space projects, but they were called I think, not architect, but ...

*Like Raymond Loewy was a consultant on Skylab ? He was an ...*

Yes, Raymond Loewy, an industrial designer, very famous industrial designer. I think he was one of the big names at that time. That work for many [?] at that time : Shell, ... So there is some contribution of architects but the problem is, for example ISS ... At the beginning it looked totally different, every mission, also the lunar missions. But let's start with ISS. ISS was huge and had living modules and every year it was like cut, cut, cut and then the minimal. The lunar rover, for example, they had many design with large lunar rover and then cut, cut, cut, ...

Yes, I believe that was at that time that the budget was cut a lot by the government.

Yes it's a matter of politics, a matter of priorities. It depends on who is talking to who. But, the Russians were the first one up to Skylab, with Salyut and then MIR station, with the real benefits that is not just letting an architect work on the colors. The architect has the advantage that he really knows how to organize space in relation to human efficiency and pleasure. And when you have an architect working on a team with other social scientists, of course if people work better at their workplace, they do better jobs. It's similar to Earth's environment, at Google or Amazon, all these big companies, they know this. Their headquarters are great, large, beautiful cities. You always have to communicate this advantage: why Architecture is important and relevant. Because it's soft and cannot be calculated, sometimes it's difficult to communicate.

---

*I would like to know to ask questions on your own experience. I saw on your website that you did a lot of Space Architecture. I would like to know how you found all these opportunities and clients. How difficult was it ? I seems to me that everything is happening in Houston so how did you manage to find all these opportunities in Europe.*

Yes, it is difficult, it is ... But, I think it is the same with all the new things, if there is no way you have to make your own. It is important to know where you want to go. It might be strange to say, but if you know where you want to go, you will find the way. In short, it is trying every opportunity that you can get. Just like now, you write me an email, talk to the people you want to talk to. Go to the IAC conferences in Paris, it's the International Astronautical Conference where people from worldwide gathers to exchanges ideas. It is the perfect idea to meet people, especially young people. Then, there is the Hiseas Habitat in Hawaii. They are always searching for people that can go there and test it. And they have workshops. For example, Spacearchitect.org community that you know, and SATC. STAC is the technical sub-committee from AIAA, and you can apply to become a member. The thing is, it is limited to people, but we do take students as members. When you see something that interest you, go for it. When you see they search for PhD, apply to it. Who knows what will happen? You should not be shy to take opportunities.

*Actually, I have a question about PhD. I thought it would exist PhD in Space Architecture, but I haven't found anywhere how to do one. Is there any opportunity, or should I find a professor who would like to accompany me ?*

I would suggest you find a PhD that suits your know how. Not especially in Space Architecture. For example, you are in Paris, and you are interested in construction, go to a university that is very good in construction. Nowadays, it is good in every field, not only Space Architecture. It is good to have a broader spectrum, to have a specific knowledge about something. Whatever it is, combine it with engineering, building physics, biomechanics, or psychology. Combine it with whatever is your own interest. This would be my suggesting. And then you can find a PhD. If you don't find a PhD directly, you will find one indirectly.

*It gives me ideas. I believe we have in my school a laboratory for PhDs which is specialized in sociology. I would be a great approach for a PhD in Space Architecture. So it might be interesting.*

Yes, it is for example !

*I lost track of my guideline, let me find another question... Since you are a professor at the university of Vienna, what do you teach you students ?*

I can post some links. We have, at the moment, a module called Emerging fields in Architecture. This may be interesting because we had the lectures from last year and this year are online, and many of them are related to what you may be interest in. And there are a few coming up. I am posting a link of where the lectures are stored and one where planning is kept. Then, we also have studios. For example, I am leading a studio in collaboration with another university on lunar habitat. And we publish them, this is where you can find the booklets. And there is also a French community that is quite large.

*Oh really ? I haven't found a lot of French names. I found only one who is a professor at the Architecture school of Strasbourg. But, he does not publish.*

I am giving you the name of one [Emmanuel Dufrasnes], who is connected to them. You have a quite large network. You can tell him that I gave you his name and that you want to be part of the ... the "French" haha.

*About teaching, do you think we should teach more this discipline at school and in Architecture schools as well ? Or is it normal that it is still a niche and that it is difficult to access ?*

For me, Architecture in extreme environment is really interesting for many issues, not only related to Space Architecture. For me building Space Architecture is only one part of it. More interesting is what we can learnt for life on Earth. There is a lot with sustainability issues, water usage, recovery, or modularity. It is also a practice where we can teach conceptual thinking and visions. Visions is something very important in the architectural education. Because if an architect does not have a better vision for society, we are very poor. Technology is also important for many aspects. I think it is okay that it is still a niche in many different professions. It is related so psychology, sociology, computer, 3D printing, biology. I think it is good that it is like this, and I think it may be not good when it is too specialized. It sounds a bit strange but if we get too specialized, it is a bit of a cut. Because I think Space Architecture is interdisciplinary. I think similarly about Architecture, it is also very had to teach Architecture. It is something you have to learn

---

but also to experience. The same goes with Space Architecture. It is not mathematics or biology where you learn and then you know it. It needs a critical reflection, a lot of thinking. Trying out and not doing well.

*Have any of your design, theory or things that you learned through all your researchers already been built in Space or applied in Space Architecture or even extreme environment.*

No, nothing has been built. I mean, I have an office, ... As I said, I use Space Architecture as a laboratory and a thinking tank. Something where you can experience or analyze things that are not easily seen if you don't change perspective. In that way, a lot of the issues that I have been working on the last years, are integrated into what I do or at least I try to. The other thing is the books, for example, that we do or the lectures is ... preparing the vision and helping others creating visions, for example with students. They open a book, they read, they think and hop it gets something. Students that are ten- or twelve-year-old are even better, at this age. It is a guiding function.

*How did your research on extreme environments influences your terrestrial architecture that you do today, how did it change you own thinking and perspectives on Architecture ?*

It changed it a lot. It is a question that is hard to answer because you can not easily transfer a solution from one environment to the other. But you should not underestimate the way of thinking how to use materials in the life cycle. So, where it comes from, how it is produced, how it is used and what happens after the lifetime. One important aspect is how things are used by different people over a long period of time. This is a difficult and challenging task for an architect, but architects can really do this well. Making place where you can be single, alone, in family, spaces that can be adapted. It sounds normal, but in real life it is not that normal. One big example that I already talked about, is privacy and social space. You need a space where you can retreat from the others, and you need a space where you can have a party. Then you need a space where you can talk about someone, and you don't want the other one to know. Otherwise, it makes even more difficult. One more thing is storage. It is a problem on Earth and here you have the cellar, you can put everything down. And trash management that also something we can learn. That's actually something we already knew but we rediscover it every few years or centuries. Humans forget how to build or how to plan houses where people don't kill each other.

*But still microgravity is something new...*

Yes, this is something fantastic, this is something totally new. It is also interesting that you can use all the spaces, there is no floor, no ceiling. But what we have learned is that humans don't change so much. We like to see what we are used to, your parents have told you what is right and what is wrong. There is this famous example of the Skylab's table, where nobody would float over the table because it was seen as unpolite. But at the same time, it was a space that was not used, which is also strange because it would be more functional and efficient. But because of the human socio-cultural issues, ... That's interesting to see with the orientation, we are used that light comes from above and not from the side, it is irritating for us. If we are in a room that is upside-down it is difficult for us to work. That is why even the model of the ISS has an orientation. It is interesting that we take so much with us. We might be able to design the weirdest places, it will not fit us, or maybe just for a few moments. But when we want to work, to talk in private, or relax, there is a common scheme that we share, of space and possibilities.

*Are there some regulations and norms in Space Architectures ?*

Environment, environment, environment, ... You need to know gravity because it impacts everything, orientation, feelings, fluids, our vision. We state as a designer that the body position changes. For example, I would not need a table and a chair. My head and my hands would have a different position, looking out at the window, we would have a different angle. Everything that you learn in Architecture is actually not usable. You have to think from the human need. Because in a gravity regime, nothing works as would have learned in building physics and dimensions, stairs, room heights and volumes. That is why I started the research from a human activity point of view. Because, we are the only constant, the rest is new, unusual, and extreme. In addition to the change of our relation to the environment comes the facts of the environment: radiation, micrometeorites; no air to breath, you can not go outside. So, there are a lot of hard facts that is the ABC. But if should design in the desert or in Antarctica you also have to learn your lessons. If you do not do it right, you will not have good solutions. That is essential : the environment

Entretien en appel vidéo fait le 9 novembre 2021 par Prève CHOBERT-PASSOT

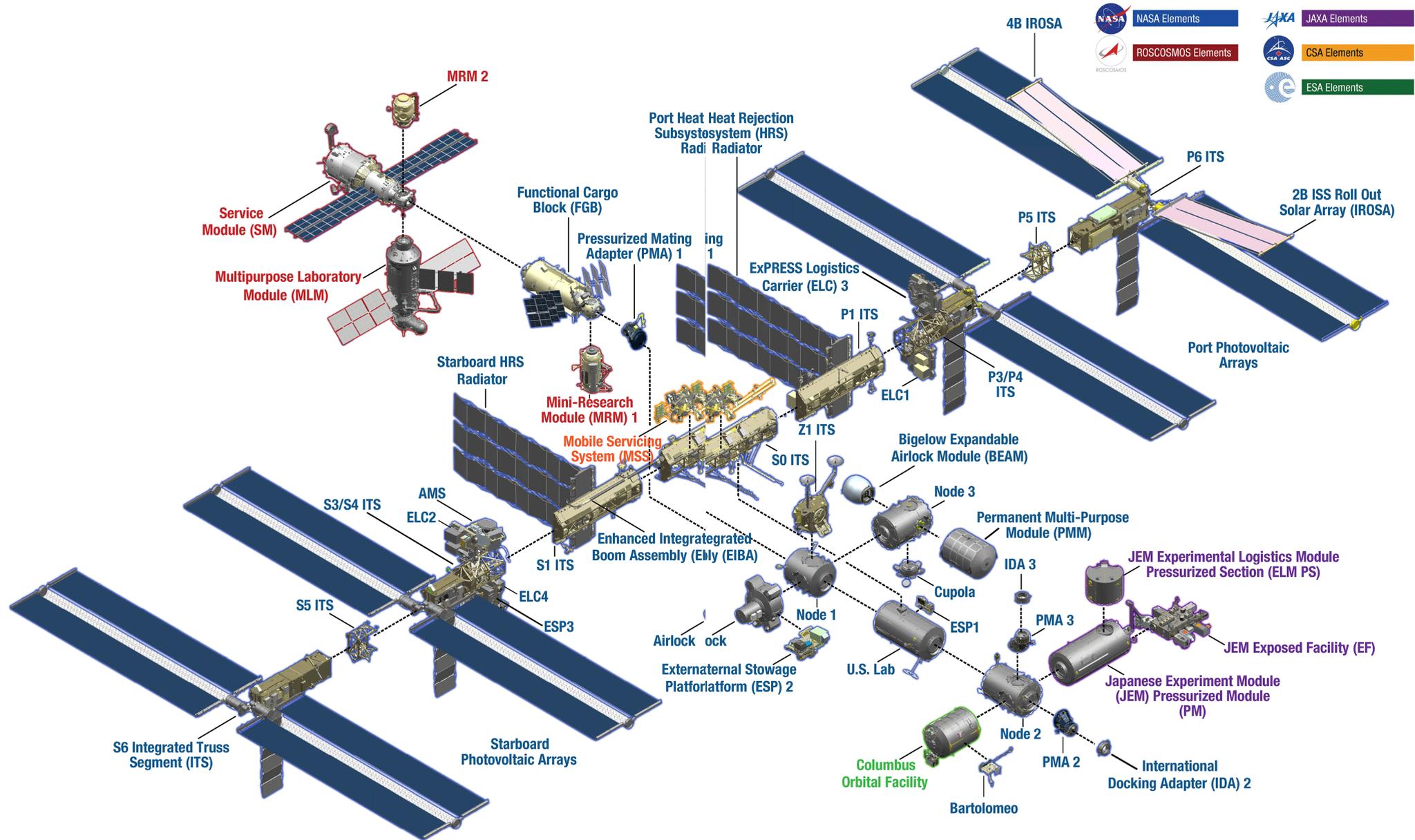
---

## 1. La vie à bord de l'ISS

---

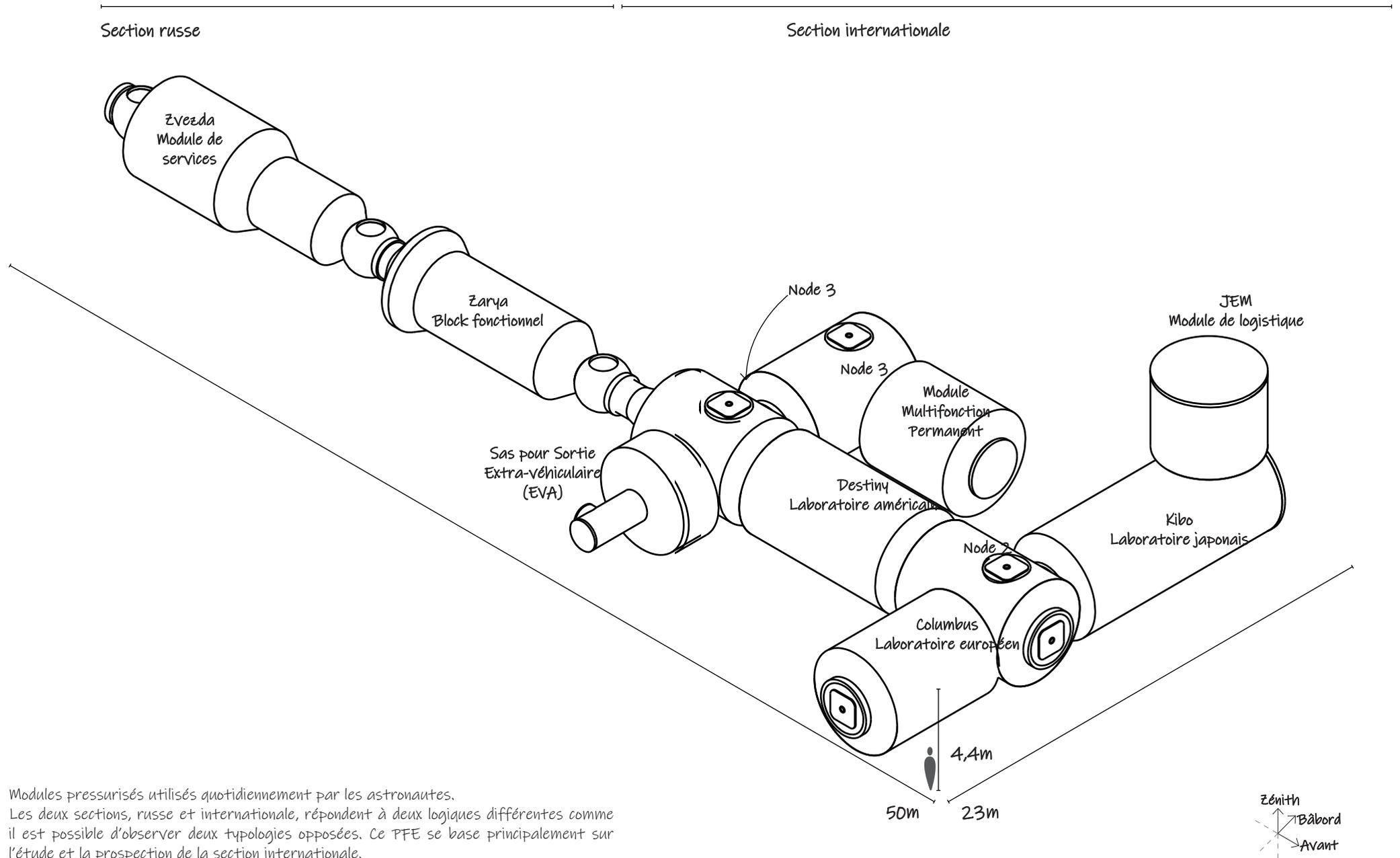
Le travail préliminaire a été l'analyse spacio-temporelle approfondie de la vie en apesanteur.

Axonométrie complète éclatée de la station spatiale internationale



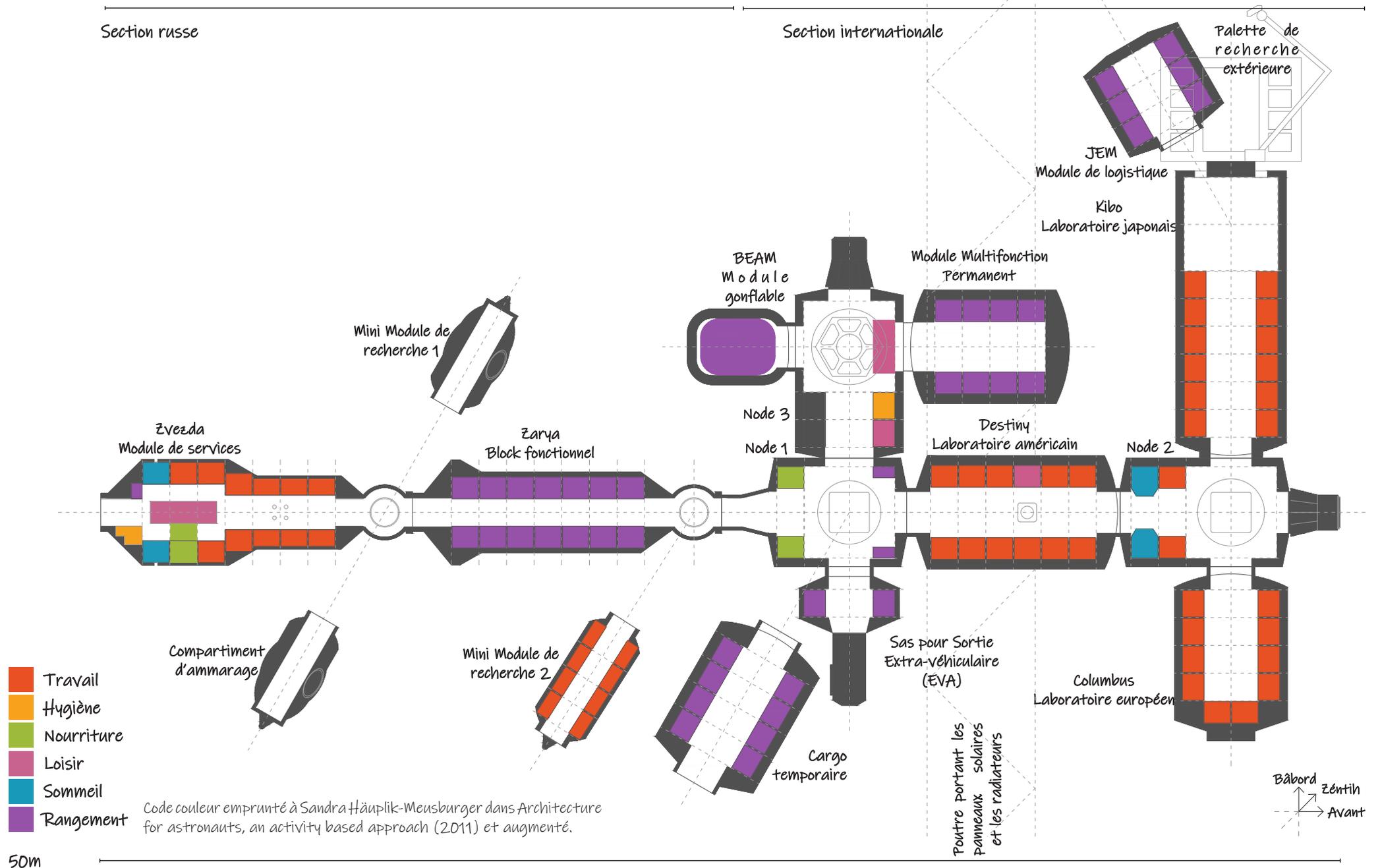
Crédits : NASA

# Axonométrie la Station Spatiale Internationale (ISS)

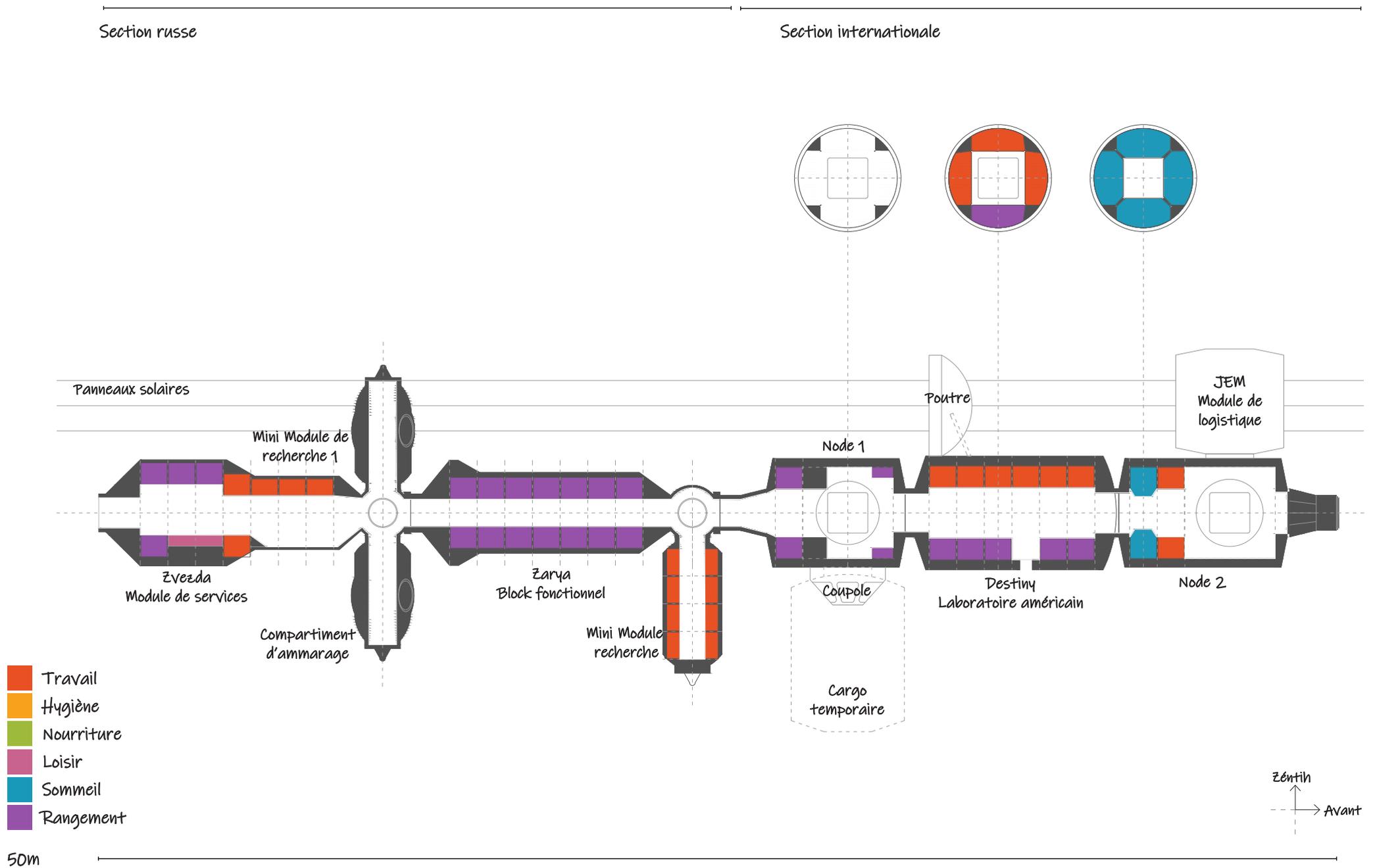


Modules pressurisés utilisés quotidiennement par les astronautes.  
 Les deux sections, russe et internationale, répondent à deux logiques différentes comme il est possible d'observer deux typologies opposées. Ce PFE se base principalement sur l'étude et la prospection de la section internationale.

# Plan fonctionnel de la Station Spatiale Internationale (ISS)



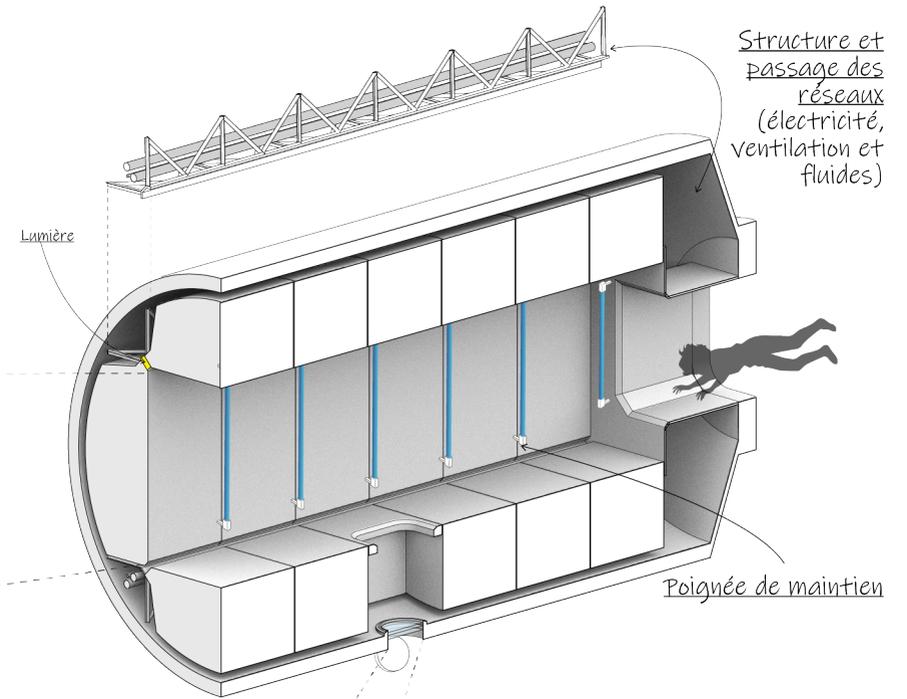
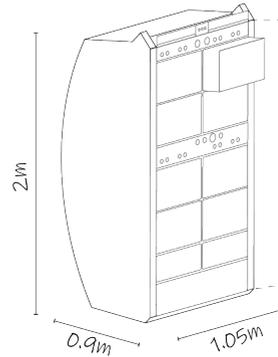
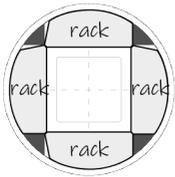
# Coupes de la Station Spatiale Internationale (ISS)



# Composition d'un module de l'ISS

## ISPR (International Standardized Payload Rack)

Les racks hébergent le rangement ainsi que tous les équipements (notamment scientifique). Grâce à leur taille unique et standardisée, ils sont la partition de la section internationale de l'ISS. Leur forme permet la transition en coupe de l'enveloppe ronde vers un couloir intérieur carré.



## Enveloppe :

Enveloppe pressurisée :  
Aluminium 4,4mm

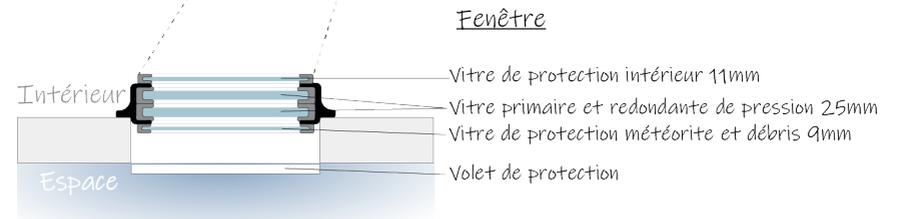
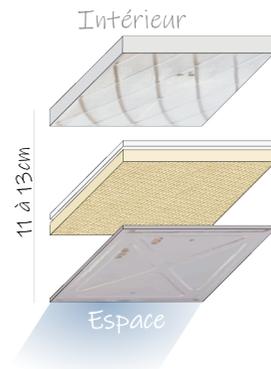
Vide cosmique

Textile céramique Nextel® 3mm

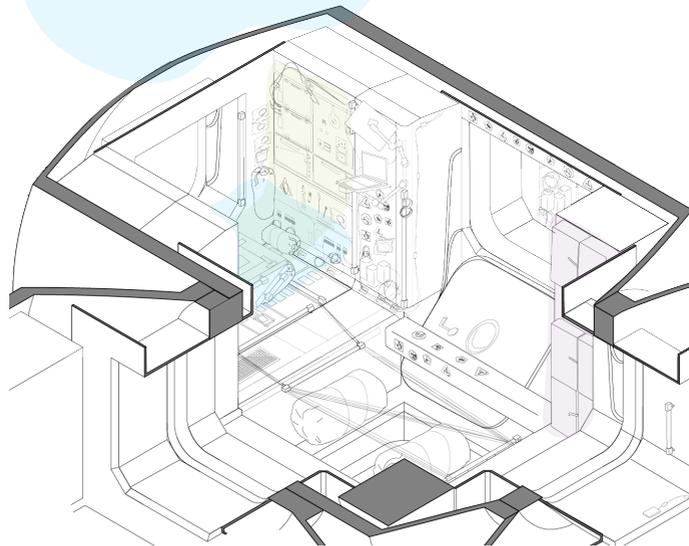
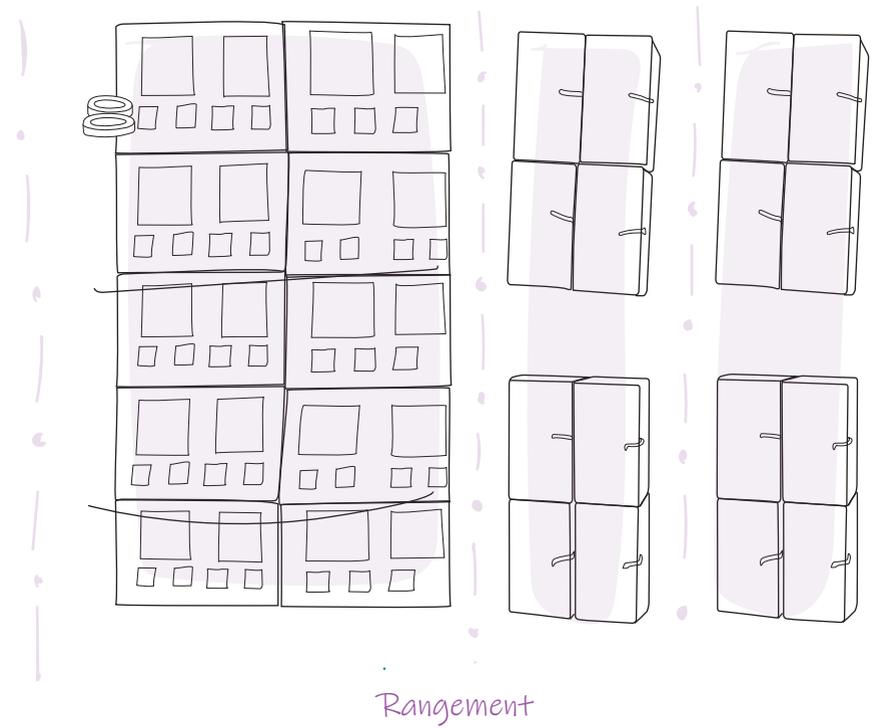
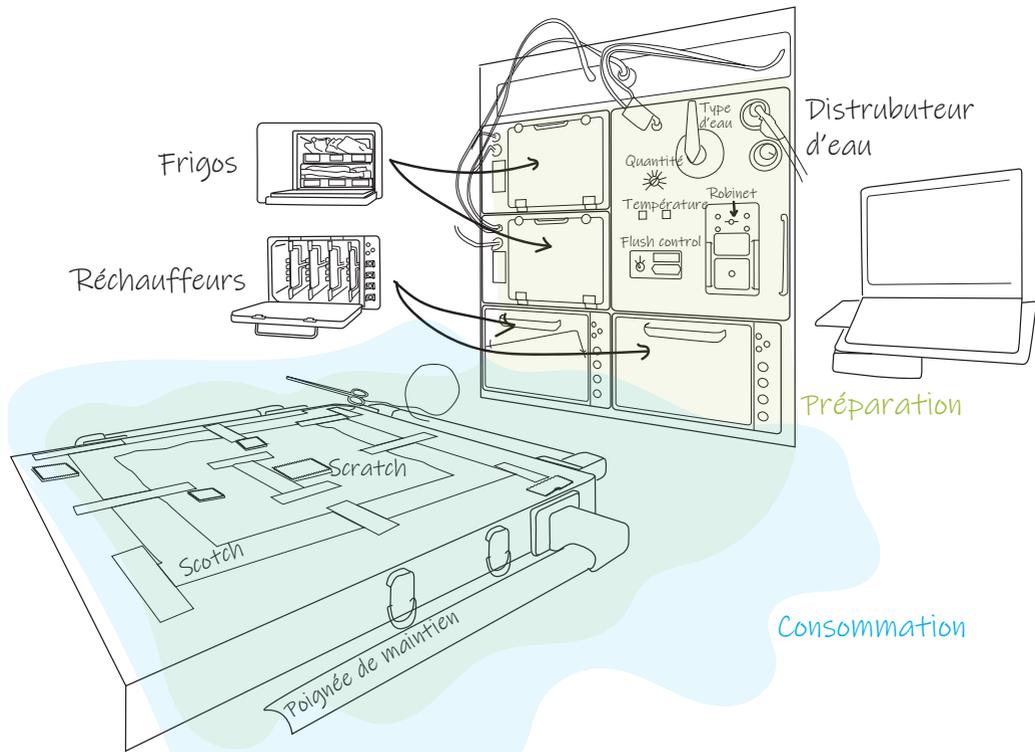
Textile Kevlar® 6,4mm

Vide cosmique

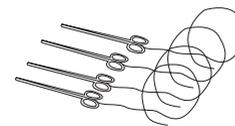
Bouclier anti-météorite et débris :  
Aluminium 2,5mm



# Cuisine internationale du Node 1



Ciseaux



Cuillère



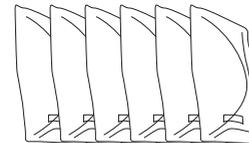
Ouvre-boîte



Couteau suisse



Tortilla



Lingettes humides et sèches



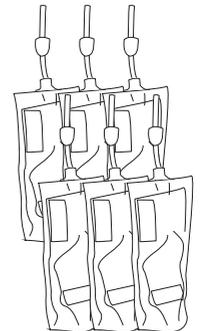
Sel, poivre, épices



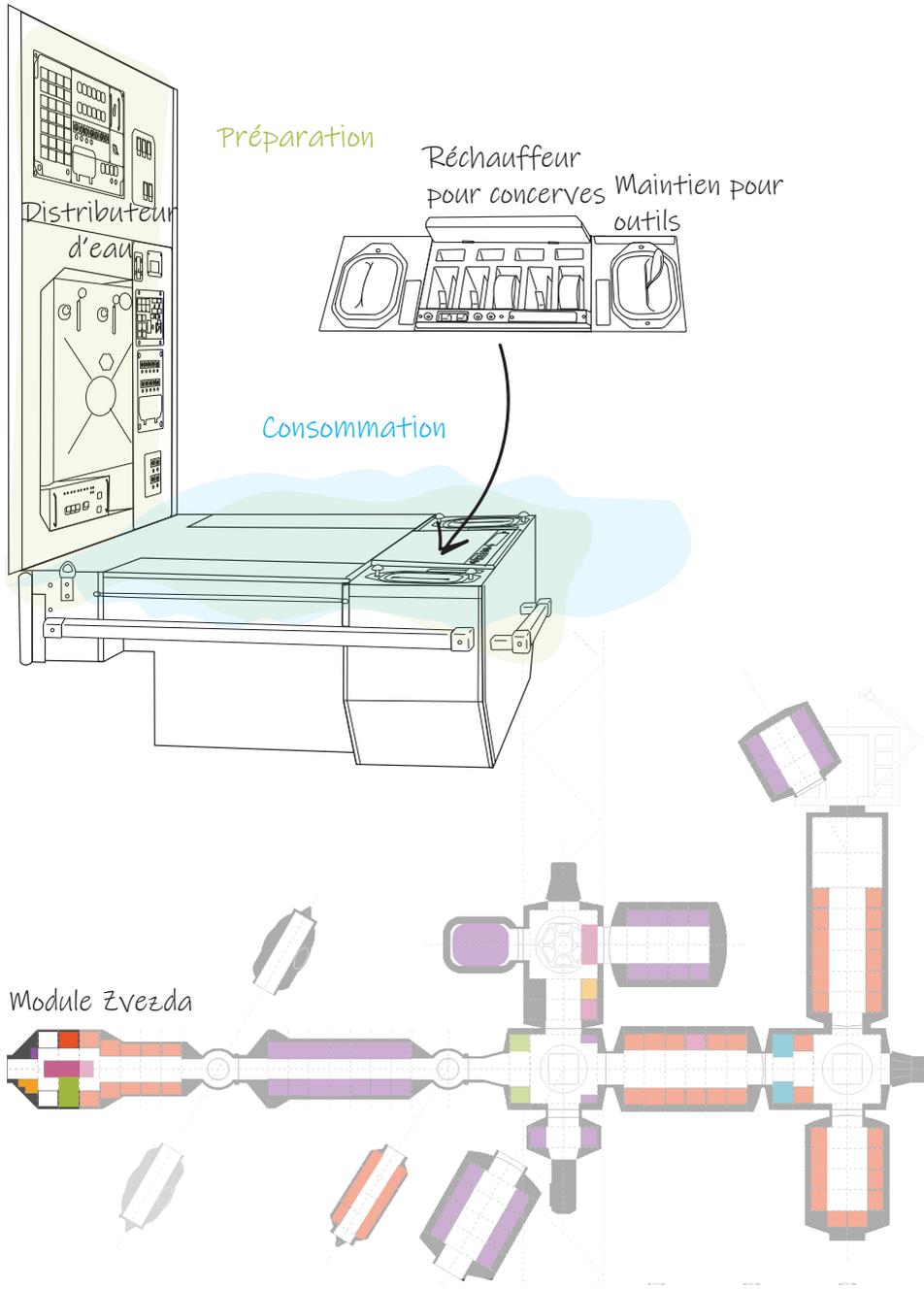
Sauces



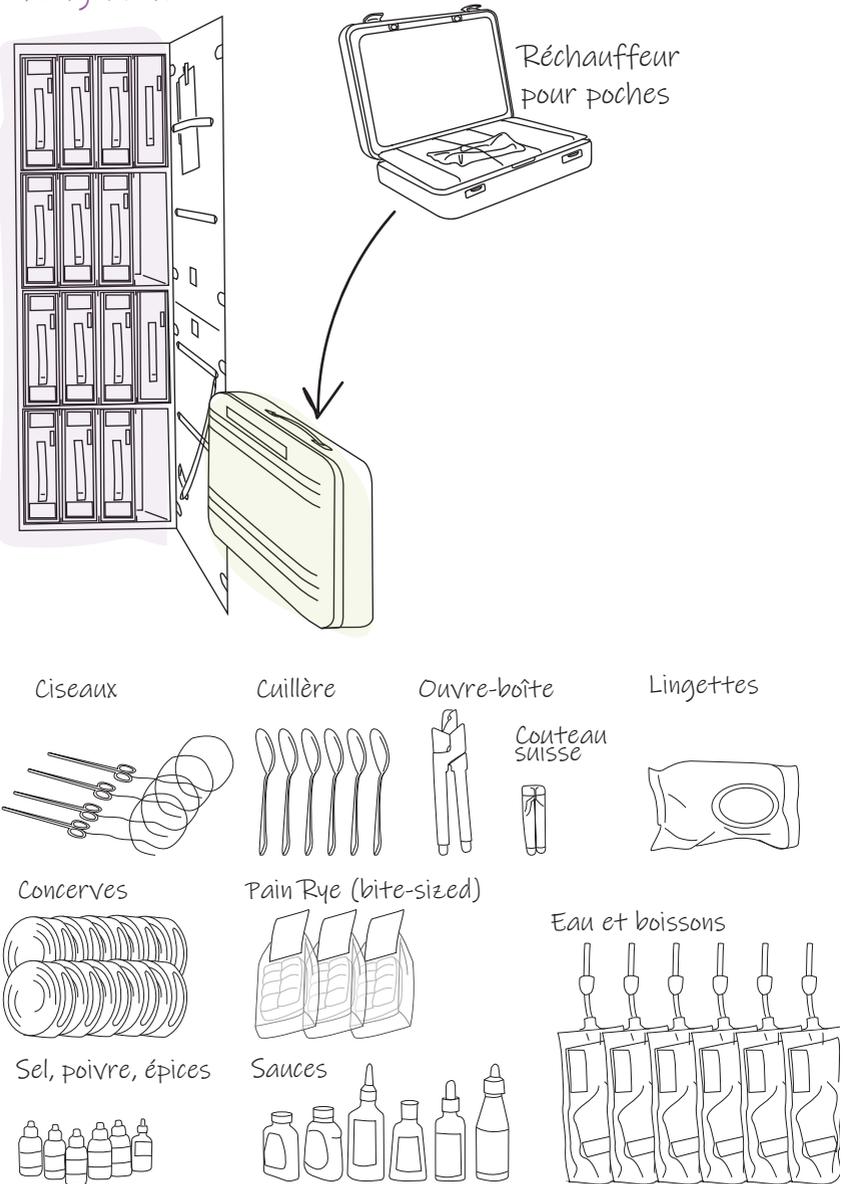
Eau et boissons



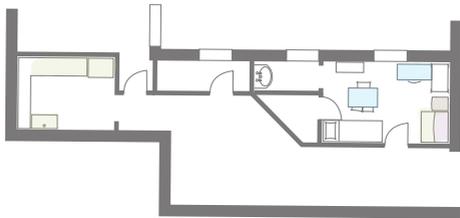
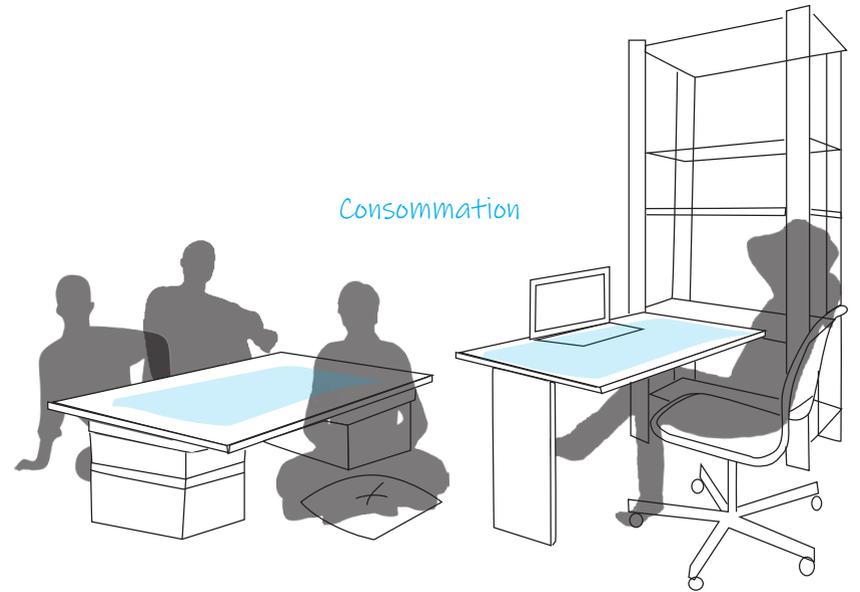
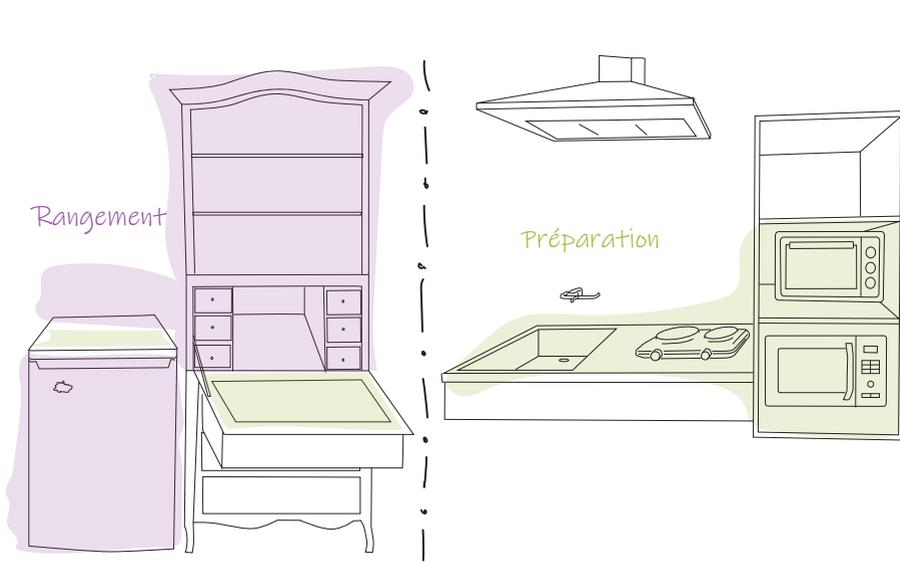
# Cuisine russe du module Zvezda



## Rangement

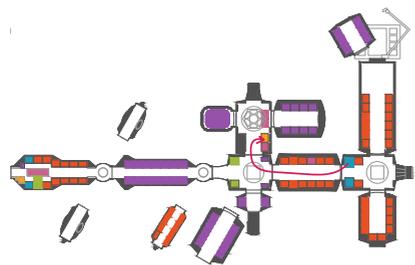
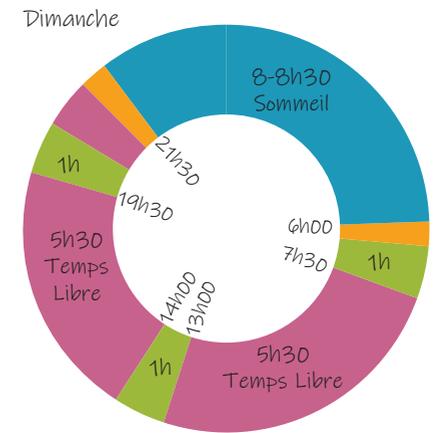
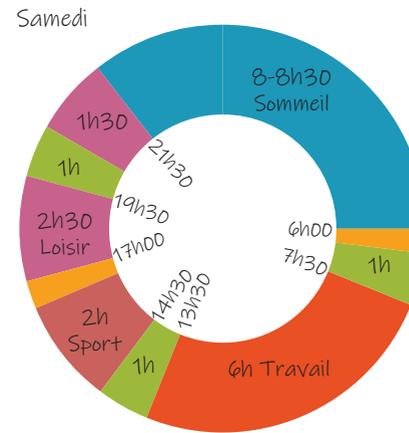
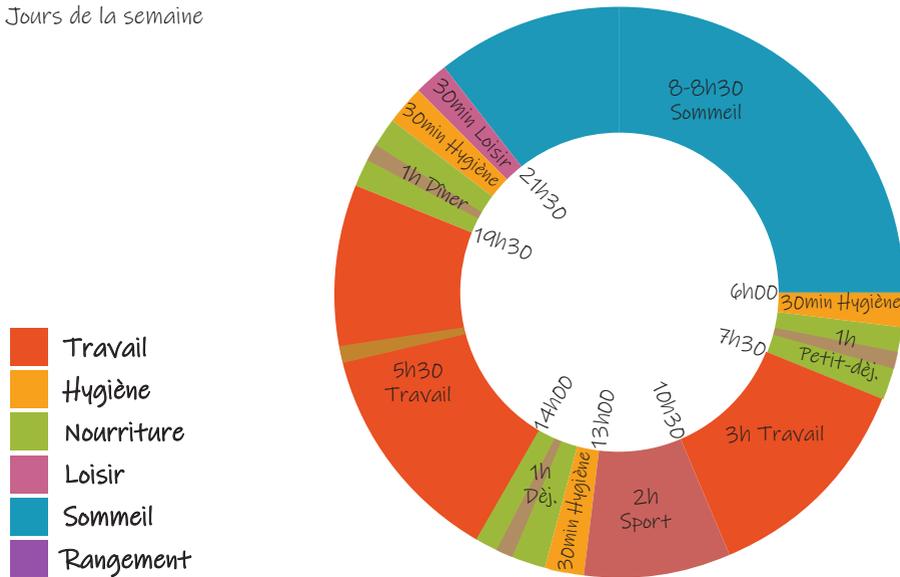


# Analyse d'une cuisine étudiante terrestre

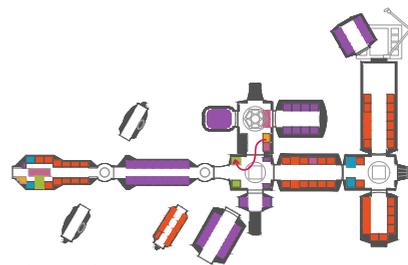


# Cycle quotidien et hebdomadaire à bord de la station

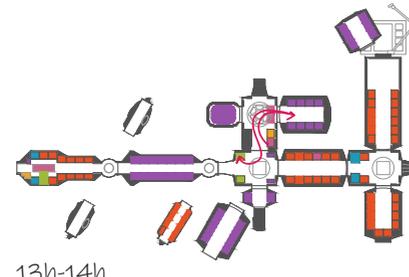
Jours de la semaine



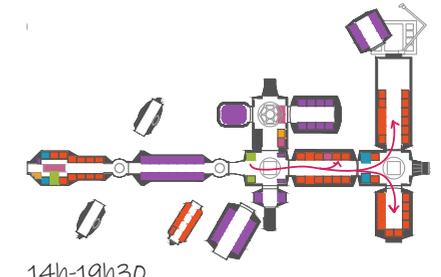
6h-6h30



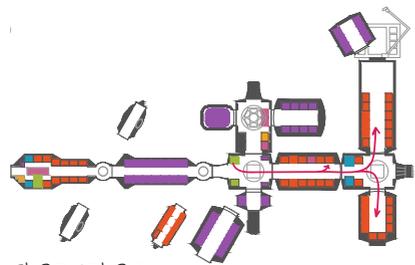
6h30-7h30



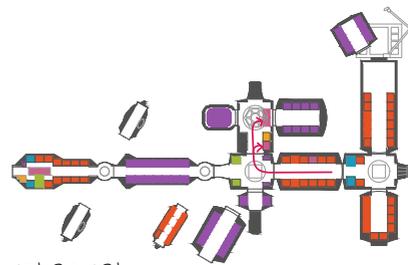
13h-14h



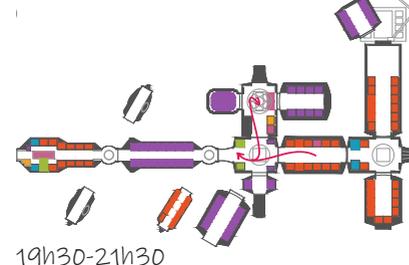
14h-19h30



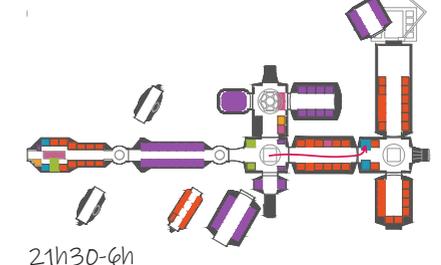
7h30-10h30



10h30-13h



19h30-21h30



21h30-6h

## La chambre [extrait de mémoire]

L'espace attribué au sommeil a pendant longtemps été amputé par celui du travail, dans les habitats spatiaux. Rappelons que durant le programme Apollo, l'équipage ne possédait pas d'espace attribué au sommeil, bien que leurs missions durent en moyenne une dizaine de jours. Avec l'établissement plus pérenne de l'homme en apesanteur dans les stations spatiales, l'espace alloué au sommeil tente d'être amélioré dès leur conception. Les architectes spatiaux sont de fervents défenseurs de ce confort élémentaire. En raison des grandes contraintes auxquelles fait face l'architecture spatiale, évolution n'est pas toujours synonyme d'amélioration. Une autre difficulté se situe dans le fait d'aider le sommeil des astronautes. Ces derniers mentionnent souvent leur peine à dormir due à divers facteurs tels que l'excitation, le stress, le bruit, les poussières, etc. Les architectes des habitats spatiaux se doivent donc de trouver des solutions spatiales et matérielles à cet inconvénient pour permettre aux astronautes de limiter leur consommation de somnifères.

En théorie, dormir en apesanteur est très simple, il suffit de se placer dans son sac de couchage et de l'accrocher à un endroit afin de ne pas flotter. Après l'endormissement, le sommeil est généralement lourd et l'astronaute ne change pas de position car, sans gravité, le corps ne se fatigue pas de reposer sur le même côté durant toute une nuit.

[...]

L'innovation de la station MIR est l'incorporation de la fenêtre dans les deux compartiments privés, appelés "kayutas" qui sont toujours utilisés à bord de l'ISS pour les deux chambres côté russe (fig.1). [...] Durant les premières années de l'ISS (de 2000 à 2008) tout comme celles de MIR, la station ne possédait que deux compartiments privés localisés dans le module russe Zvezda, les "kayutas" de la station MIR, pour héberger les trois membres permanents. Pour le troisième membre, le prototype de compartiment temporaire de sommeil ou Temporary Sleep Station (TeSS), était installé dans le module du laboratoire américain Destiny<sup>1</sup>. Les membres d'équipage

<sup>1</sup> HOWE, A. Scott.; SHERWOOD, Brent, *Out of this world : The new field of space architecture*,

de passage dort, toujours aujourd'hui, dans des sacs de couchage accrochés au travers de la station. En 2007, quatre nouveaux quartiers permanents ou Crew Quarters (CQ) sont ajoutés à bord de l'ISS grâce à l'ajout du module Harmony ou Node 2 (fig.2). La conception de ces CQ ont suivi le CDR et répond aux mêmes besoins qu'un habitat terrestre : la lumière, la ventilation, l'acoustique, la température et l'ajustement par son habitant. Sa réponse formelle est simplement différente grâce aux disponibilités de l'environnement spatial. Son aboutissement représente le "dernier cri de la chambre spatiale".

Chaque CQ fait 2,1 m<sup>3</sup>, et offre une retraite protégée des bruits et des activités. Le son y est limité à 40 Db (équivalent d'une bibliothèque publique). Ces CQ sont dimensionnés en fonction du passage minimum prévu de l'ISS, soit 152 cm, pour laisser le passage des racks (comparable

American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009

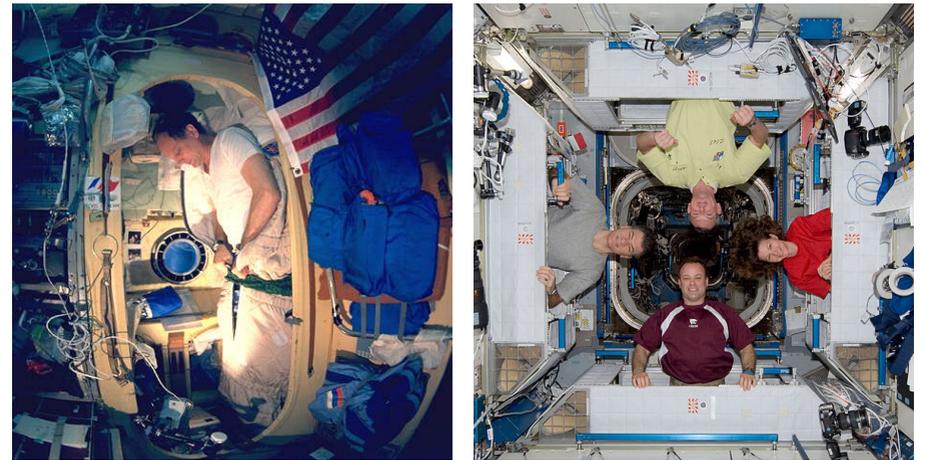


Fig.1 : Astronaute Norm Thagard dormant dans son Kayutas à bord de la station MIR

Fig.2 : Les quatre nouveaux quartiers d'équipage de l'ISS dans le Node 2 avec les astronautes Ron Garan (bas), Cady Coleman (droite), Paolo Nespoli (gauche) et Alexander Samokutyaev (haut).

(Source : Nasa)

aux unités de passage françaises). Les portes s'ouvrent vers l'intérieur pour que tout l'équipage puisse évacuer en cas d'alarme. Ces contraintes ne sont pas des réglementations mais sont des normes issues du bon sens et des expériences acquises. Par exemple, l'utilisation du CQ temporaire TeSS permet de prendre conscience de la nécessité d'une meilleure qualité d'isolation (thermique et acoustique) et de la simplification des étapes d'assemblage d'un rack.

Le quartier se compose du mur utilitaire munis d'une table et du système d'éclairage (fig.3). La surface est agrémentée d'attaches de 5x5cm, limitées au nombre de 125 pour des raisons d'espace. Les membres peuvent aussi stocker l'équivalent de 0,09m<sup>3</sup> d'objets personnels au bas de leur cabine. Leur localisation permet de maximiser l'espace au niveau de la tête et des bras. Les murs sont recouverts d'un isolant peu salissant et facilement nettoyable en couvertures GoreTex. L'intérieur est composé de Thinsulate. Cet isolant, d'abord utilisé pour ses propriétés thermiques dans l'industrie du vêtement, est utilisé aujourd'hui dans les voitures pour ses qualités acoustiques et imperméables. Les murs sont aussi composés de Nomex (très résistant chimiquement et thermiquement) est la famille du Kevlar. Les parois des cabines des CQ sont les plus isolantes de la station, côté vide spatial, pour limiter l'exposition des astronautes qui passent un tiers de leur temps dans cet espace. Les cabines sont donc isolées avec 125 kg de polyéthylène à ultra haut poids moléculaire ou Ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), panneaux de 6cm d'épaisseur qui réduisent de 9% les radiations galactiques et de 74% les radiations solaires. La structure interne de la cabine est en panneaux de carbone en nid d'abeille qui résistent à la pression du lancement tout en économisant du poids utilisé pour l'isolation des radiations<sup>2</sup>.

La ventilation est un sujet important pour les espaces réduits et confinés tel qu'un CQ. Elle renouvelle l'air et évite l'asphyxie due à la concentration de carbone relâché par la respiration. La ventilation régule aussi les échanges thermiques et assure le confort. A cause de sa situation dans le vide cosmique, l'ISS ne possède aucune ventilation naturelle et a recours à une ventilation artificielle. L'air est pris à l'extérieur en haut de la cabine (là où il y a le plus de circulation d'air) et rejeté à l'intérieur au niveau des pieds. Le

<sup>2</sup> ANN BORREGO, Melissa, JUERGEN, F.Bahr, LEE BROYAN, James jr., "International Space Station crew quarters", dans *Out of this world : The new field of space architecture*, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2009

flux d'air doit être suffisant pour renouveler l'air mais suffisamment lent et large pour éviter toute gêne sonore.

La lumière a également été l'objet d'une recherche approfondie. La lumière principale, située au niveau de la tête, est réglée dans le CQ à un minimum de 54 lux et à un maximum de 323 lux pour les surfaces de lecture. Les diverses lampes sont ajustables, par son habitant, en hauteur et en luminosité à l'aide d'abat-jour. Durant la "nuit", la luminosité est plafonnée à 0.5 lux mais s'allume automatiquement en cas d'alerte pour prévenir de la désorientation dans le noir.

Avec l'allongement des séjours spatiaux, le confort des espaces destinés au sommeil a été nettement amélioré. Ils possèdent de plus en plus d'intimité autant acoustique que sonore, et leur ergonomie est pensée de manière de plus en plus précise et flexible à la fois. Leur évolution n'a cependant pas été linéaire, mais les concepteurs apprennent de leurs erreurs et tentent avec l'aide du retour d'expérience des astronautes d'accroître le confort des espaces de sommeil. Les quartiers d'équipage restent encore loin de l'image standard d'une chambre.



Fig.3 : Intérieur d'un quartier d'équipage à bord de l'ISS (Source : Nasa)

## La cuisine [extrait de mémoire]

Dans la dureté et l'isolement de l'environnement spatial, la nourriture devient, plus que l'énergie physique, un véritable stimulant psychologique pour les astronautes. Les plats sont variés et aux goûts spécifiques des membres d'une mission afin de prévenir toute monotonie. La conservation de la nourriture pose un grand problème auquel les scientifiques ont répondu dès les missions Apollo. Le choix de la nourriture se base sur des aliments denses et nutritifs afin de limiter le poids. Dans leur volume, les plats sont optimisés par déshydratation. Cette méthode permet aussi d'accroître leur conservation à une moyenne de 18 mois. Après leur réhydratation, les astronautes mangent directement leur repas dans leur sachet de conservation. Chaque plat choisi doit être en sauce ou sous la forme d'une pâte pour qu'aucune miette ne flotte en dehors du paquet. La cuisine, dans le sens de préparation d'un repas, est presque inexistante dans l'Espace. Les architectes ont peu d'influence sur ce fait mais ils sont en mesure d'améliorer l'endroit où mangent les astronautes.

[...]

L'espace dédié au repas à bord de l'ISS est composé de deux parties : l'espace de préparation et celui de consommation (fig.4). Ces espaces se situent dans le module Zvezda, installé en 2000. La majorité de la nourriture consommée est réhydratée à l'eau chaude. Le plaisir de manger est apporté par la diversité internationale des plats que l'on trouve désormais à bord de la station. Les plats, dans un premier temps américains ou russes, peuvent être désormais choisis dans les menus japonais et européens. Les menus sont basés sur un planning de 16 jours qui se répète. La nourriture est maintenue en place par du velcros et des sangles sous lesquels les couverts ou autres objets peuvent être glissés. Certains astronautes confient leur attachement à l'odeur du module Zvezda, due à la préparation et consommation de nourriture et qu'ils associent au moment de détente que représente le repas<sup>3</sup>. D'autres astronautes s'essaient à la "cuisine de l'Espace" comme le

<sup>3</sup> ESA, *Visite complète de la Station Spatiale avec Thomas Pesquet*, Youtube, novembre 2021, consultée en décembre 2021

raconte Sandra Magnus (NASA, Expedition 18)<sup>4</sup> :

*"La variété des aliments est assez bonne et vous pouvez augmenter leur variété en mélangeant et en assortissant les choses, et dans mon cas en faisant un peu de "cuisine" dans l'espace (...) Il est donc possible de cuisiner dans l'espace avec quelques heures, beaucoup de lingettes sèches et humides et les outils de base que sont le ruban adhésif, les sacs en plastique, les sachets en aluminium et un petit couteau. C'est amusant et certainement une aventure!"*

Les astronautes semblent donc particulièrement apprécier l'attention accordée à la ressemblance entre de la "cuisine" de l'Espace, dans le sens d'espace et d'activité, et celle terrestre. Au fil de la création de nouvelles stations spatiales, des améliorations ont été apportées mais certaines de ces grandes avancées n'ont pas été conservées. Une véritable table sur laquelle les astronautes peuvent cuisiner semble faire partie du passé. Ce sont donc par des moyens détournés qu'ils retrouvent avec joie leur habitudes terriennes.



Fig.4 : Thomas Pesquet présentant l'espace "cuisine" situé dans le Node 2 de l'ISS, novembre 2021. A gauche (en bleu), table à manger déployable repliée, à droite (en vert), fours et réfrigérateurs. (Source : ESA)

<sup>4</sup> WHISTON, Peggy, *Peggy Whiston's Journal- Exercise inSpace*, NASA, 2008

## La salle de bain [extrait de mémoire]

La caractéristique de l'Espace la plus contraignante pour l'hygiène est la tension de surface. Les liquides et textures visqueuses glissent le long de la peau sans vouloir se détacher. Cela pose donc des problèmes à tous les niveaux de l'hygiène, que ce soit les liquides corporels ou ceux du lavage. Les liquides doivent être soit épongés, soit aspirés. Les astronautes ont par exemple pendant longtemps reporté ne pas utiliser les brosses à dent et/ou le dentifrice fournis, mais préféré les chewing gum à bord des missions Apollo, les lingettes ou brosse à dent électrique "à sec" à bord de la station Saliout, ...<sup>5</sup>

[...]

Les astronautes préfèrent la douche à la lingette, instaurée avec le programme Space Shuttle depuis 1981. Le cosmonaute Valery Polyakov affirme même après 437 jours en apesanteur, que "sa peau était en encore mieux qu'avant le séjour"<sup>6</sup>. A bord des navettes, chaque individu se voit attribué quotidiennement deux lingettes, une pour se laver et une pour se rincer, ainsi qu'une serviette. Pour se laver les cheveux, ils utilisent un shampoing sans rinçage. Ce système est toujours utilisé à bord de l'ISS. Le confort instauré à bord de MIR est le fait de posséder deux sanitaires. Le premier se situe dans le module principal et suit le modèle de Saliout. Le sanitaire du module Kvant 2 installé plus tardivement est préféré par les utilisateurs. Ce système est composé de toilettes assises pour déféquer et uriner ainsi que d'un lave-main et lave-cheveux (fig5a).

[...]

L'ISS reprend les équipements d'hygiène les plus appréciés et les plus pratiques de ces prédécesseurs. Il n'y a donc pas de douche à bord puisqu'aucune n'a su faire l'unanimité et que les astronautes préfèrent au final les lingettes qui leur semblent plus pratiques. La demande d'une

<sup>5</sup> HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, *Architecture for astronauts, an activity based approach* (p.132 et140), Vienne, Springer, 2011

<sup>6</sup> POLYAKOV, Valery, *Waste and Hygiene Compartment*, ESA, 2010, consulté 26 décembre 2021 à [http://asimov.esrin.esa.it/SPECIALS/node3/SEMEHHSJR4G\\_0.html](http://asimov.esrin.esa.it/SPECIALS/node3/SEMEHHSJR4G_0.html)

douche à bord n'est pas pour des raisons d'hygiène mais plus de confort. Cependant, l'apesanteur retire le plaisir de la simplicité d'une douche terrestre. Il existe deux sanitaires à bord de l'ISS, un dans le module Zvezda (2000) (fig.5b) et l'autre dans le module Destiny (2008) qui sera déplacé dans le module Node 3 un an plus tard. Ces sanitaires sont deux mises à jour de ceux trouvés à bord de MIR. Ils sont utilisables aussi bien par les hommes que par les femmes. Le ménage est effectué toutes les semaines à l'aide de lingettes jetables et durables ainsi que de deux aspirateurs.

Les questions majeures d'hygiène ont été traitées et affinées au fil du temps et des stations spatiales : hygiène corporelle, sanitaires, ménage, rasage, ... Un problème d'importance subsiste, qui pour l'instant pourrait nous empêcher de nous aventurer trop loin de la Terre : faire la lessive. En effet, cette question n'a pas encore été répondue. Actuellement, les vêtements sont portés jusqu'à ce qu'ils soient trop sales, puis sont détruits dans des cargos pulvérisés durant leur réentré sur Terre. Les habits de rechange sont envoyés avec le ravitaillement. Or, pour la durée d'un voyage vers Mars, les provisions de vêtements représenteraient un volume et un poids conséquent. En outre, un ravitaillement suffisamment régulier de cette ampleur pose des problèmes budgétaires. Sans gravité, il est pour l'instant impossible d'effectuer une lessive.



Fig.5a : Maquette des toilettes de la Station MIR. En rouge, embout du tube pour uriner, en vert, réceptacle fécal, en vert, boîte pour le lavage des mains.

(Source : Gabriele Formentini, Flickr)

Fig.5b : Toilettes du module Zvezda de l'ISS. En rouge, embout du tube pour uriner, en vert, réceptacle fécal.

(Source : NASA)

## Le salon et le loisir [extrait de mémoire]

Les astronautes à bord d'une station spatiale sont envoyés pour des raisons professionnelles. Ils restent donc durant des mois dans leur lieu de travail. Cette structure coûte extrêmement cher, plusieurs milliards de dollars, chaque espace est donc optimisé et seul l'essentiel est fourni. Les besoins vitaux, tels que manger, dormir ou autres besoins corporels, possèdent leur propre espace. Toutefois, c'est le travail qui prend la majorité de l'espace, puisque les stations ont un but scientifique. Le repos et la détente des astronautes sont mis de côté. Pourtant, le bien être d'un travailleur est essentiel à l'efficacité et la qualité de son travail. Nous allons donc voir comment les loisirs des astronautes sont traduits en orbite autour de la Terre.

Dès les missions Apollo, des exercices physiques sont imposés aux astronautes pour compenser la perte de muscles liée à la pesanteur. A partir de Saliout, des machines de fitness sont installées à bord : un vélo, un tapis de course et un équipement d'exercice musculaire. En 1984, le premier cosmonaute indien introduit le yoga. Selon l'astronaute B.J.Bluth<sup>7</sup>, l'activité est très appréciée pour son utilisation minimal de l'espace et son bénéfice face à l'apesanteur. Les scientifiques soviétiques reconnaissent tôt l'importance du temps libre pour leurs hommes. La plupart des activités de loisirs personnels incluent : la vidéo-télécommunication, les cassettes vidéos, des jeux de sociétés, la lecture, l'écoute de musique, l'éducation personnelle, le dessin, observer l'extérieur et prendre des photos. Cependant, seul le sport possède un espace propre à cette activité, sûrement à cause de sa nécessité pour la santé physique des astronautes. Valery Ryumin (Saliout 6)<sup>8</sup> se plaint du sport imposé :

*"Je déteste nos exercices. J'adore ça sur Terre. Mais ici, je dois me forcer à chaque fois. C'est ennuyeux et monotone, et c'est du travail lourd. Mais on réalise qu'on en a besoin pour rester en forme alors on sert les dents"*

7 Bluth, B.J., Helppie, M, *Soviet Space Stations as analogs*, NASA, Washington, 1986

8 Idem 61

Les cosmonautes se voient attribuer des jours de congés qui sont parfois supprimés. Les cosmonautes autant que les astronautes protestent pour cela. En 1973, l'équipage de Skylab protesta en coupant toute communication avec Houston durant 30 minutes en raison de la surcharge de travail.

La particularité de Skylab est son large volume sous la forme d'une "tour de trois étages" pour un équipage réduit de trois personnes. Les membres de ces missions étaient très inventifs en exercices et jeux (fig.6a et b). Ils abandonnent rapidement le vélo qu'ils considèrent inconfortable et bruyant. Celui-ci sera remplacé par un tapis de course.<sup>9</sup> Leurs activités favorites sont l'observation par les larges fenêtres ainsi que les figures acrobatiques uniquement possible en microgravité.

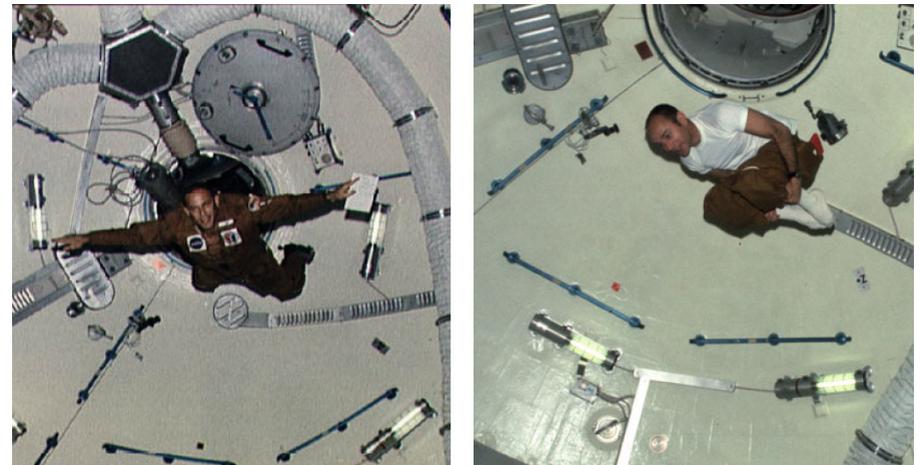


Fig.6a et b : Les astronautes Jack R. Lousma (à gauche) et Alan Bean (à droite), pratiquant leurs figures acrobatiques dans le dôme de Skylab. (Sources : NASA)

9 HAUPLIK-MEUSBURGER, Sandra, *Architecture for astronauts, an activity based approach* (p.268), Vienne, Springer, 2011

Depuis la première station spatiale et aujourd’hui encore, à bord de l’ISS, deux heures d’exercices sont inscrits au planning quotidien. Les équipements se sont diversifiés : vélo, deux tapis de course, système de résistance musculaire, balles et élastiques, ... (fig.7a, b et c) Les loisirs personnels restent similaires selon le temps et les cultures. La radio, les films et la lecture sont des activités très communes. Toutefois, l’observation terrestre reste l’ultime loisir, particulièrement depuis l’installation de la coupole en 2010 avec ces sept fenêtres (photo de droite). Avec le développement d’internet, la communication s’est améliorée et les conférences transmises dans le monde entier sont devenues courantes.

Les espaces comparables à ceux d’une même fonction sur Terre se traduisent en apesanteur très différemment. Les “pièces” et leurs équipements se sont perfectionnés au cours des essais. Cependant, les solutions conservent un design fonctionnaliste car l’échantillon de quatre stations est trop faible pour pouvoir développer un confort de microgravité abouti. La plupart des besoins sont solutionnés par des équipements plutôt que par des réponses spatiales, dans le sens de surface et de volume. Il semble important d’intégrer une pièce importante dans un foyer terrestre : le salon. Cette pièce est censée héberger les activités de loisirs.



Fig.7a : Astronaute Robert Thirsk utilisant la machine à résistance musculaire (ARED) dans le Node 3 à bord de l’ISS.

Fig.7b : Astronaute Nicole Stott utilisant le tapis de course dans le Node 3 à bord de l’ISS.

Fig.7c : Astronaute Michael E. Lopez-Alegria utilisant le vélo dans le module Destiny à bord de l’ISS. (Sources : NASA)



*Astronaute Karen Nyberg observant la Terre depuis la coupole réalisée par Thales Alenia Space, 2013 (Source : NASA)*

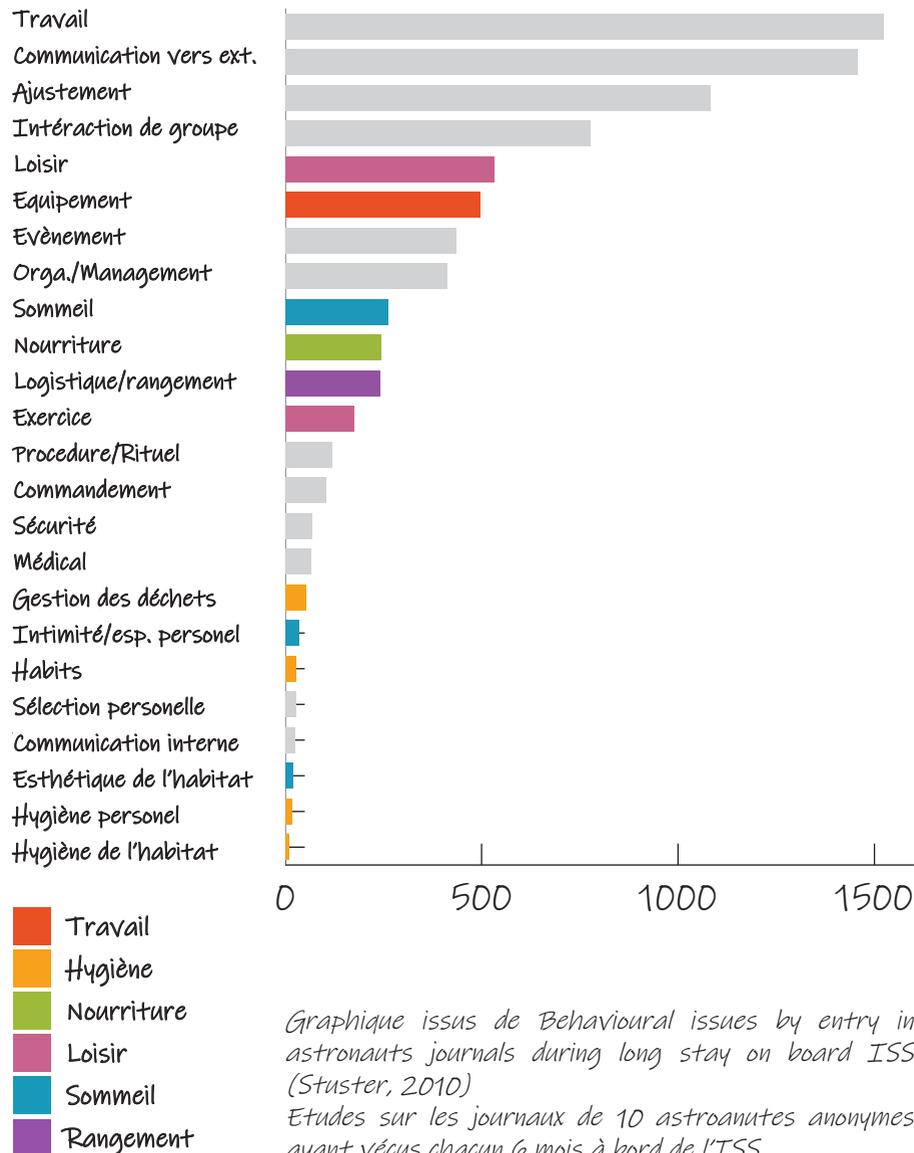
---

## 2. Retours d'expériences

---

Les lectures de retours d'expérience permettent d'appréhender de manière plus personnelle la station. Elles sont la meilleur visite en apesanteur qu'un architecte puisse espérer.

## Problèmes expérimentés par les astronautes à bord de l'ISS



### Travail

"I have concluded that I hate to perform maintenance. Science is okay; installations are okay; maintenance sucks. The tools are inadequate and the equipment is not designed to be operationally compatible or "user friendly."

"One of the reasons it gets tiring up here, I realize, is that many of the tasks we have to do are frustrating. This has to do with the way the Station was designed, how we use it differently than intended perhaps, and how the owners of each system and piece of equipment want us to do the work. The 4 hours of work to set up and take down the medical equipment is an example."

### Communication externe

"One thing that I am thankful of is that I haven't started noticing any resentment or anger toward the ground team or "management" or anybody else like many other crews have experienced. I continue to believe that everybody is pouring their heart into the mission. [...] It is largely the same anger and resentment that periodically crops up in the training environment and it tends to act as a poison among the entire group."

### Ajustement

"With time on my hands for half an hour, I feel slightly melancholy, for some reason. This happens quite often in space, among astronauts in general (and cosmonauts), and space seems to somehow amplify our emotions, positive or negative, however they might be. Maybe it is the remoteness, or the beautiful scene outside, or a consciousness that we are in a unique situation, benefiting from the work of others. News stories have powerful emotional impacts on me."

"I am comfortable here now. I can fly around quickly and efficiently. I can work pretty easily in any attitude. I can read the procedures and multitask. I am not forgetting nearly as much. I don't mind when I lose things—usually I find them in a day or so."

---

"One of the problems is that our training doesn't have under control. We spend all of our time on emergency scenarios and spacewalks. Sometimes understanding how to live would go a long way to increasing the success of the mission."

### Loisir

"I took a peek out the side facing JEM windows one evening, without camera in hand, and was so mesmerized that I ended up gazing upon the Earth for an entire 90 minute orbit. A hundred times I thought "I should go grab the camera" but I decided to just try to capture this one orbit with my own eyes and burn it into my brain."

### Equipements

"There's only room for two at the table, so three of us just float and juggle our food. I'm not sure what the idea is for when we have six of us up here."

"After a week here, I notice the noise on the ISS. It is markedly louder in the SM, where I wear ear plugs all the time. In the USOS [US segment], it is quieter, but still loud near the aft end of the lab. Fortunately, inside the TESS [sleeping compartment] is very quiet. In the USOS, I generally wear ear plugs too, but I do give my ears stretches without. Wearing ear plugs constantly irritates the ears, so some breaks are necessary."

"We heard the usual clicks over the loudspeakers, a byproduct of the relays operating, and X floated nearby, and then said, "Over here—it is the smell again." It was like you had your face in a can of paint. This is very dangerous, so I said we should turn it off and close the valves now. X seemed uncertain, and I said we can't let it go on. He reported the smell as coming from \_\_ just before we lost comm with Moscow. They came right back and said shut it down; I was relieved."

"During the day, the Service Module feels like a steam bath. Usually there are 4 or more people in there, and the systems are just not keeping up to maintain temperature, humidity, and CO2 under control. As I fly through the Station and enter the SM, it feels like running into a blanket of muggy stale air. I am very glad that my work is generally elsewhere."

### Sommeil

"I feel pretty tired today. The fatigue is the result of getting only 6 hours of sleep most nights. The temptation to try to get a jump on tomorrow has been too great to ignore."

"I was awakened in the middle of the night by the ground telling me to close the shutter on the lab window. It is beyond me why it couldn't wait until wake up time."

### Nourriture

"I am still concerned about the food situation. How could the ground have miscalculated so badly? Not much we can do about it, but it is irritating."

"I was very happy the other day to reopen a bonus food container—one from which I thought I had pillaged all of the coffee—to find a cache of both espresso and lattes. I am now set for the rest of the mission (I had been rationing myself; having a latte only every other day and on off days mixing an espresso with an instant breakfast drink or, on one rare occasion, a cocoa)."

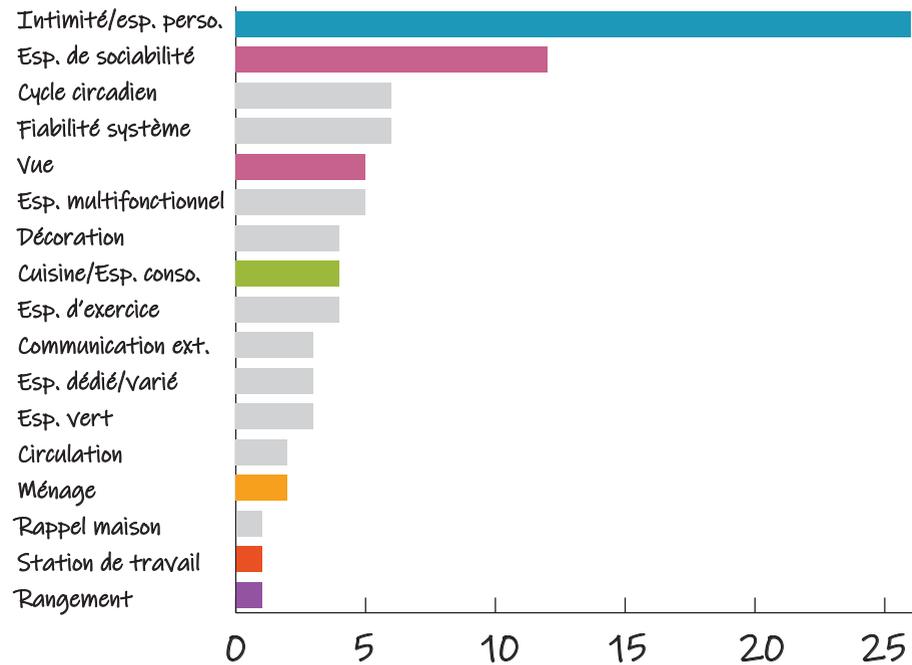
"We had a great dinner last night. Even X took a break from packing to enjoy the company and camaraderie. It was a testament to the unique bonds we all have from sharing the experience."

"It is time to put supper in the oven. I find that it makes a difference to spend a little extra time in preparing the meals to make them more enjoyable. Although there is only so much you can do with space food, a little effort goes a long way."

### Rangement

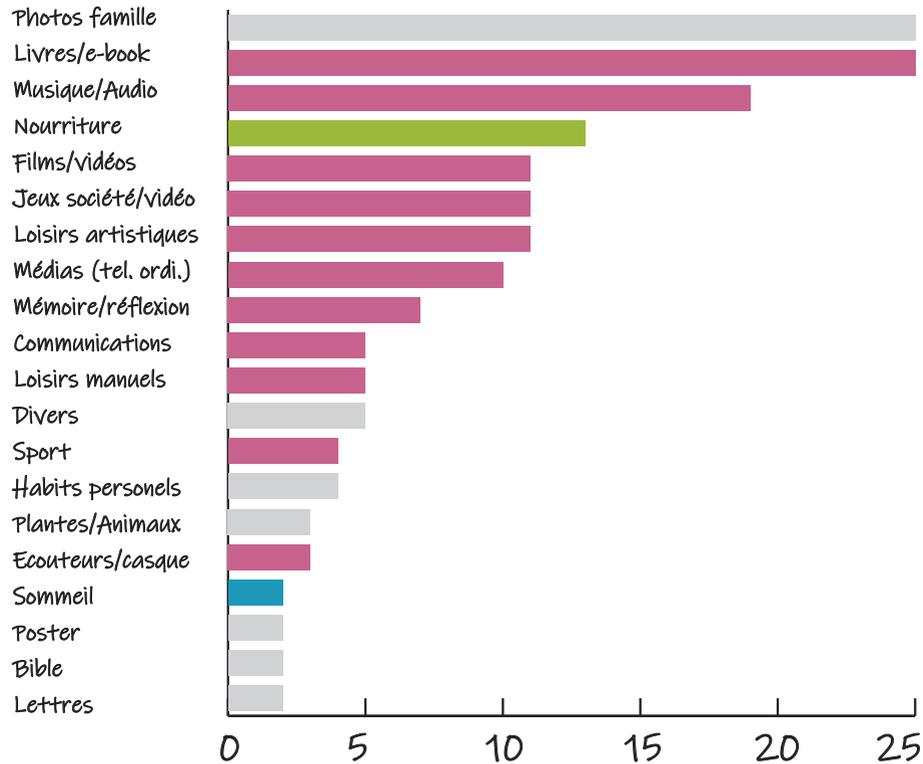
"Spent the entire morning unpacking. I am starting to get irritated at the stowage plan. Every time I unpack a bag, I have to stow the empty bag somewhere (they are only semicollapsible). I am now getting overwhelmed by bags. The airlock is a disaster area; I have attempted to keep it orderly since I've been here, but it's simply swamped with the volume of stuff we've thrown into it. Every light is blocked, so working in there is like spelunking. I'm not sure where the ISS designers figured we were going to put all this stuff."

## Caractéristiques désirables d'un habitat confiné et isolé



Trois caractéristiques les plus désirables pour vivre dans un environnement confiné et isolé, selon des astronautes et des astronautes analogues ayant vécu une mission d'au moins 2 semaines (Haeuplik-Meusburger, 2021)

## What would you take ?



What would you take ? Objets personnels que les astronautes et analogues astronautes voudraient emmener pour une mission spatiale de plus de 1 an (Haeuplik-Meusburger, 2021)

"Pictures of my loved ones (because they are inspiring!). Good music selection (because I usually listen to music while exercising, cleaning, or performing other "automatic" task). Books (because reading is one of my favorite hobbies). Dulce de leche and jamon serano ( because ... I just love those ! And it would remind me of good time with friends on Earth)."

"Journal for reflection and recording. Plants and seeds for entertainment and group care. Photographs and videos of people and places at home to maintain connection to life on Earth"

"Redundant hard drives with all my personal files, music photos, plus a full copy of wikipedia/Gutenberg/etc. Sound-cancelling headphones. A few tangible mementos. The best camera money can buy. The best computer money can buy. A personal toolkit optimized for fixing/adapting things around the habitat"

"Something from home : images, drinks/food/stuffed animals from family; letters to be open mid-mission - anything that connects me to Earth. You wouldn't believe how a poster of a green forest and a crystal blue lake in a personal space can be powerful reminding you where you come from and where to you'll return some day"

"Download probably all of youtube before you go !"

"In addition to communication devices, I would take tools for painting and sculpture "

"I have the impression in my personal case that I don't need much to make my life better, so I will simply answer based on my flight experience : Photographs from family, some personal music and poetry which had some inspirational impact in my life, some puzzles which would entertain my mental skills in a different way than the mission goals themselves at work (I took rubics cubes for my 3 flights), some fundamental physics and philosophy books which would help maintaining high level of thinking/reasoning/questioning [...], all sort of games to play with other crew members which would maintain social life [...]"

---

### 3. Interrogation de la forme et de l'espace

---

Premiers essais d'approche du projet.

Pistes de recherche

Structure



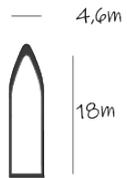
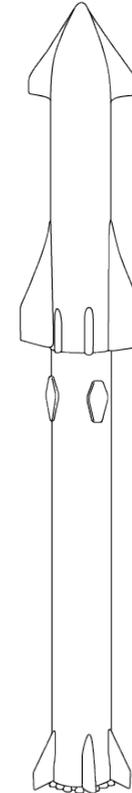
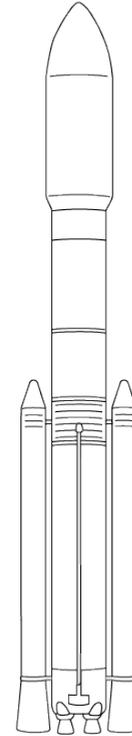
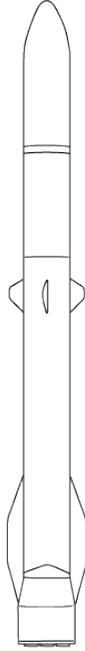
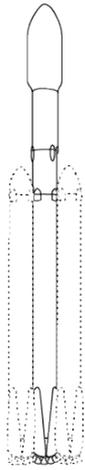
Furniture



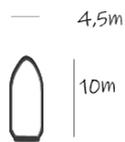
Texture



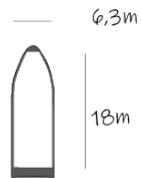
# Forme et taille des cargo (2022-2025)



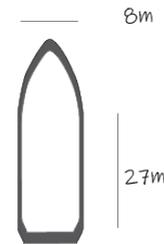
Ariane 6



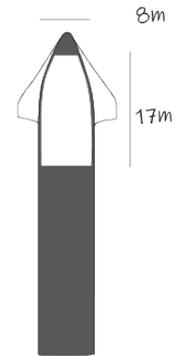
Falcon 9 et Super Heavy



New Glenn



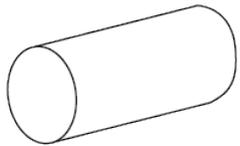
SLS



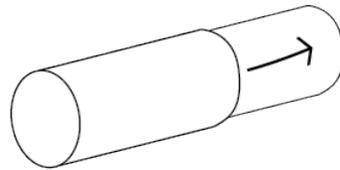
Starship

## Typologie de modules

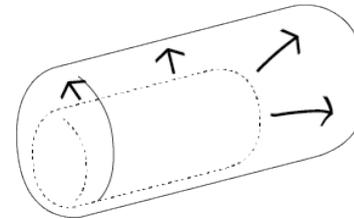
Module rigide



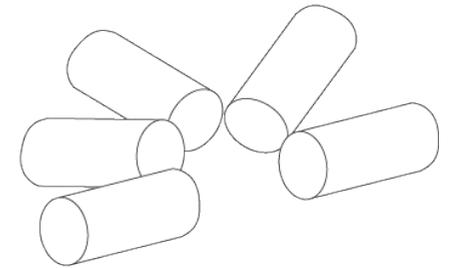
Module deployable



Module gonflable



Constellation



- directement prêt

- semi-prêt au déploiement

- grand volume

- possibilité de taille et forme multiple



- volume limité par celui du cargo

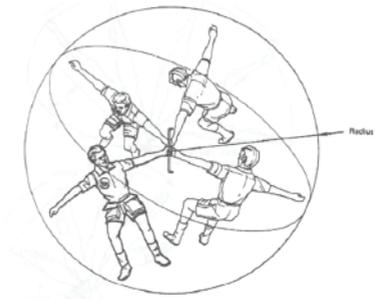
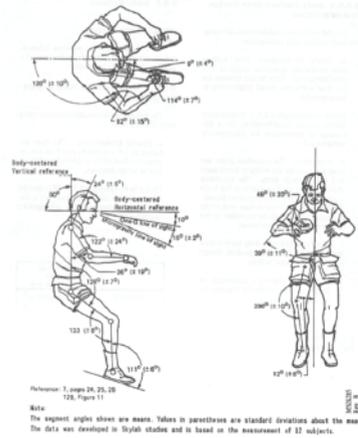
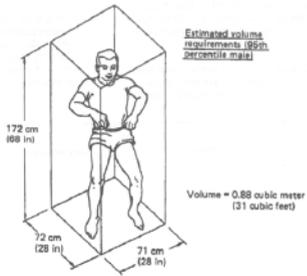
- temps de mise en place

- placement difficile de fenêtres  
- long temps de mise en place

- dépendant du choix de typologie  
- gestion jonction



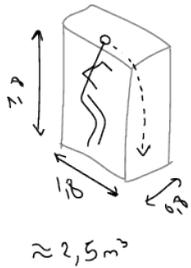
# Dimensionnements pour le corps humain en apeusanteur



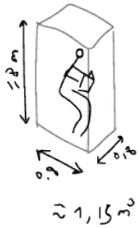
	Radius of fingertip reach boundary
95th percentile male	195 cm (77 inches)
5th percentile female	150 cm (63 inches)

$\approx 31 \text{ m}^3$   
 $\approx 14 \text{ m}^3$

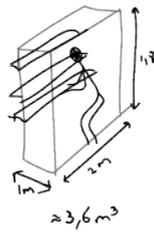
Méditer



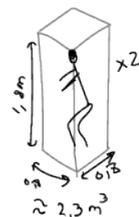
Lire



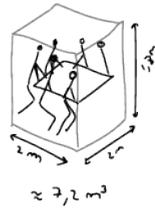
Cultiver



Cuisiner



Manger



Regarder



Jouer



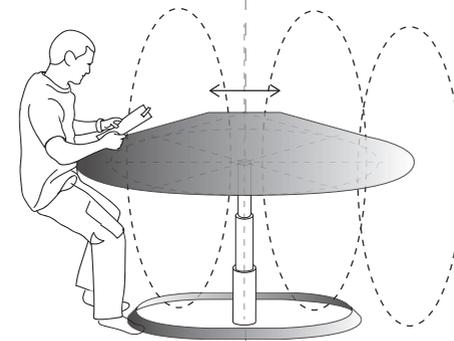
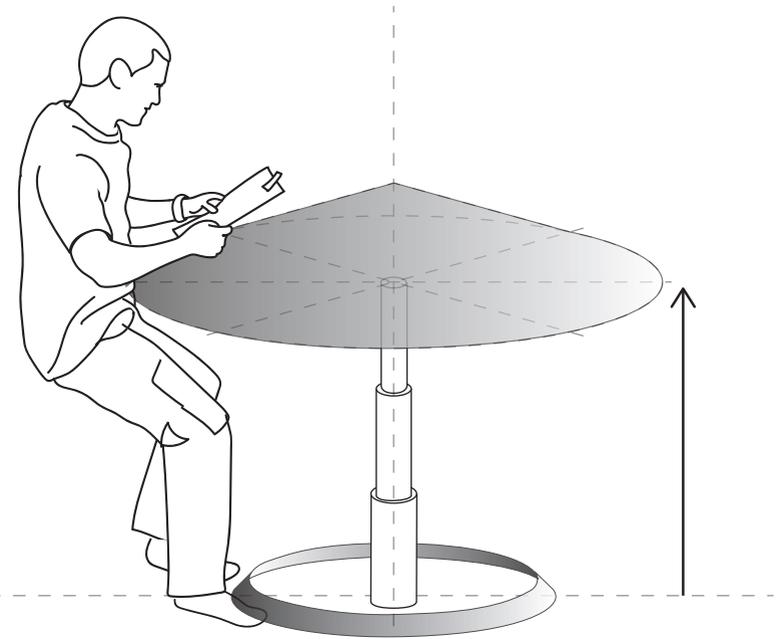
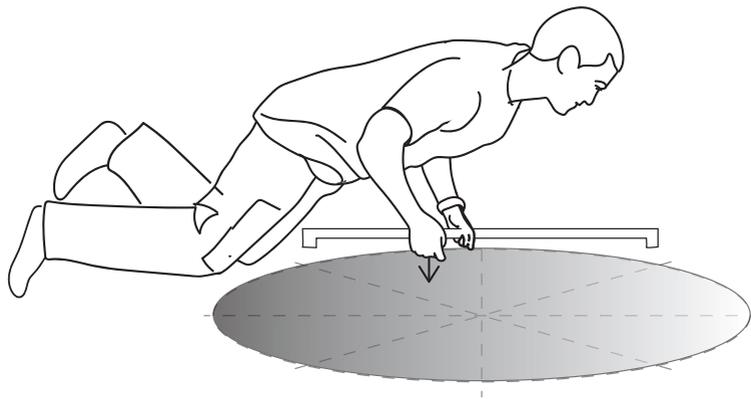
Discuter



$= 130 \text{ m}^3$

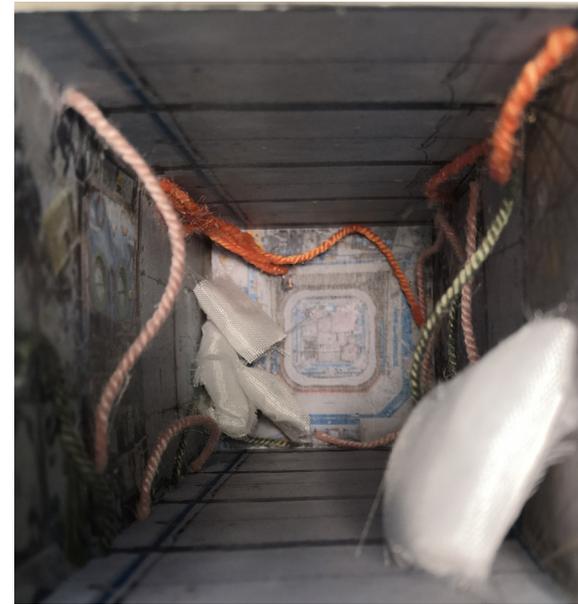
---

Concept de table Dg extensible



---

Impression du laboratoire américain dans une conserve



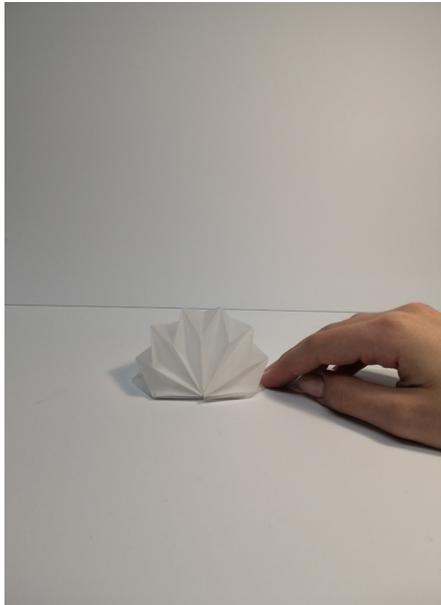
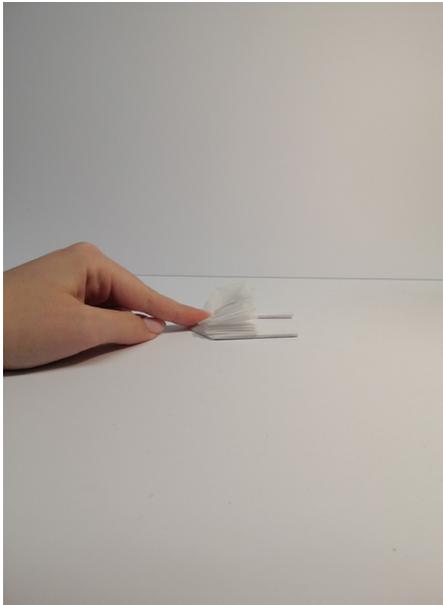
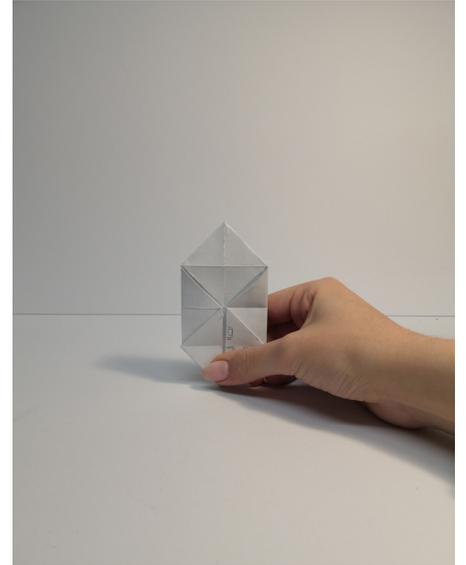
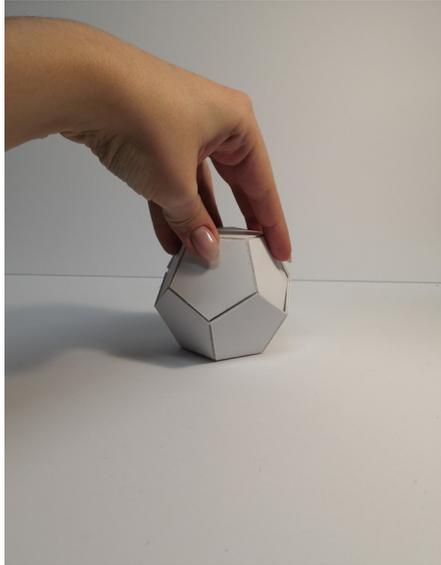
---

Appréhension de l'apesanteur



---

Structures pliées



---

## 4. Interrogation du programme

---

Deuxième essai d'approche du projet

# Brainstorm des programmes absents

Intérêt activités

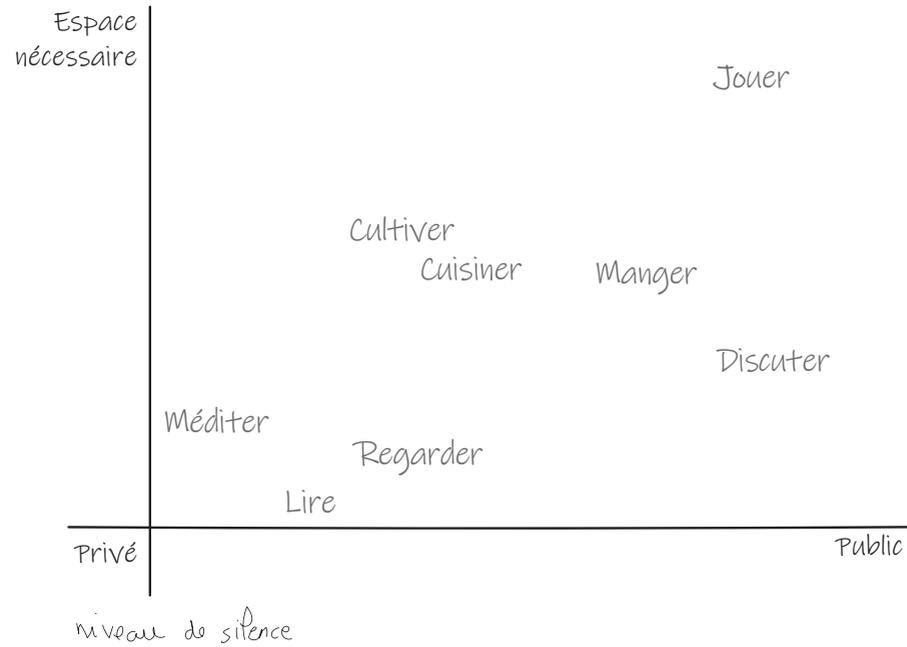


Salle

Cuisine / Salle à manger



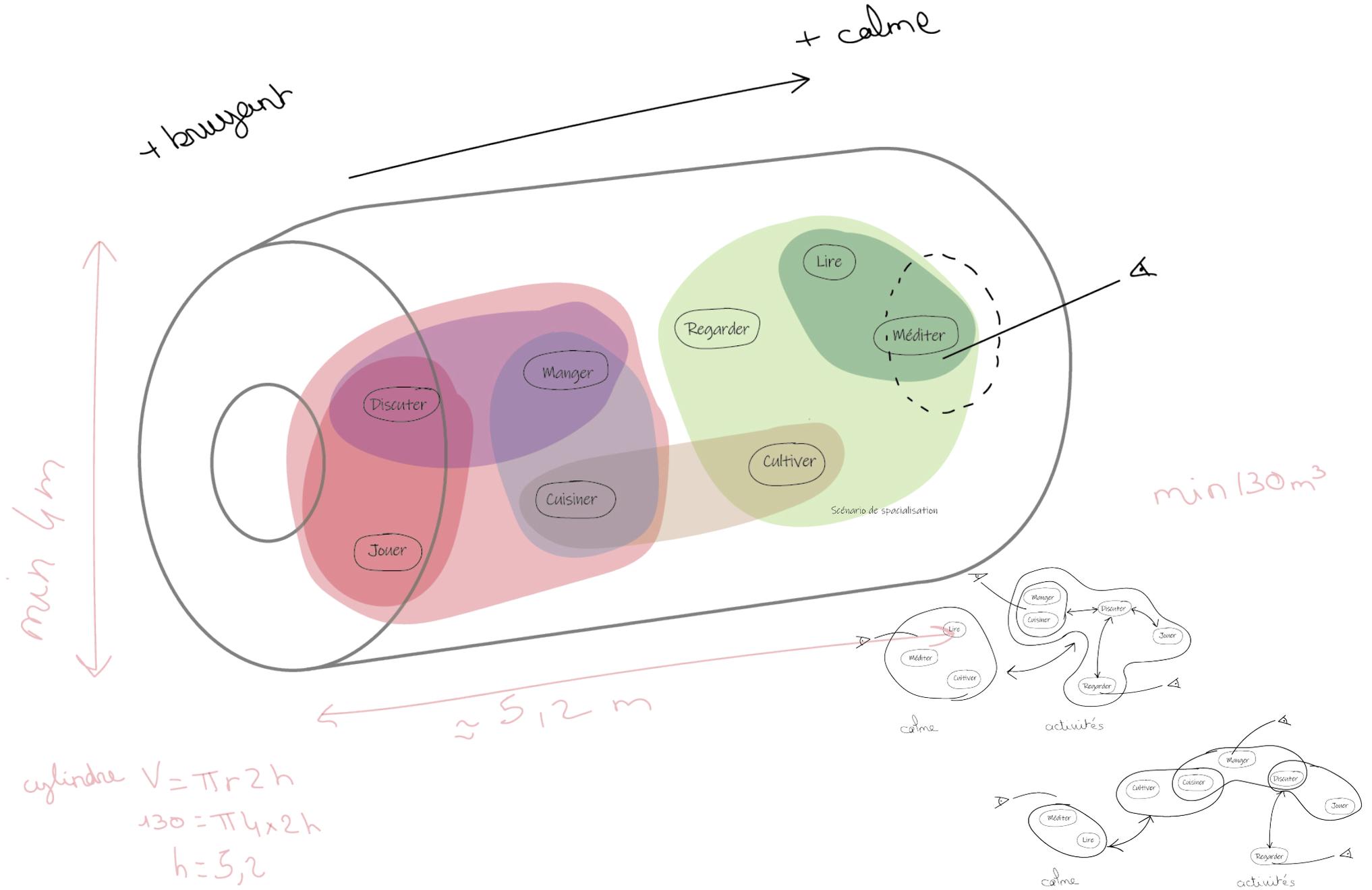
## Proximités relatives et besoins des programmes



Méditer	Proximité fortement déconseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée				
Lire	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité fortement déconseillée	Proximité fortement déconseillée
Cultiver	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions			
Regarder	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée
Cuisiner	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité fortement déconseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée
Manger	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée
Jouer	Proximité fortement déconseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité fortement déconseillée	Proximité totalement acceptée ou conseillée			
Discuter	Proximité fortement déconseillée	Proximité fortement déconseillée	Proximité acceptable sous certaines conditions	Proximité totalement acceptée ou conseillée	Proximité fortement déconseillée			
	Méditer	Lire	Cultiver	Regarder	Cuisiner	Manger	Jouer	Discuter

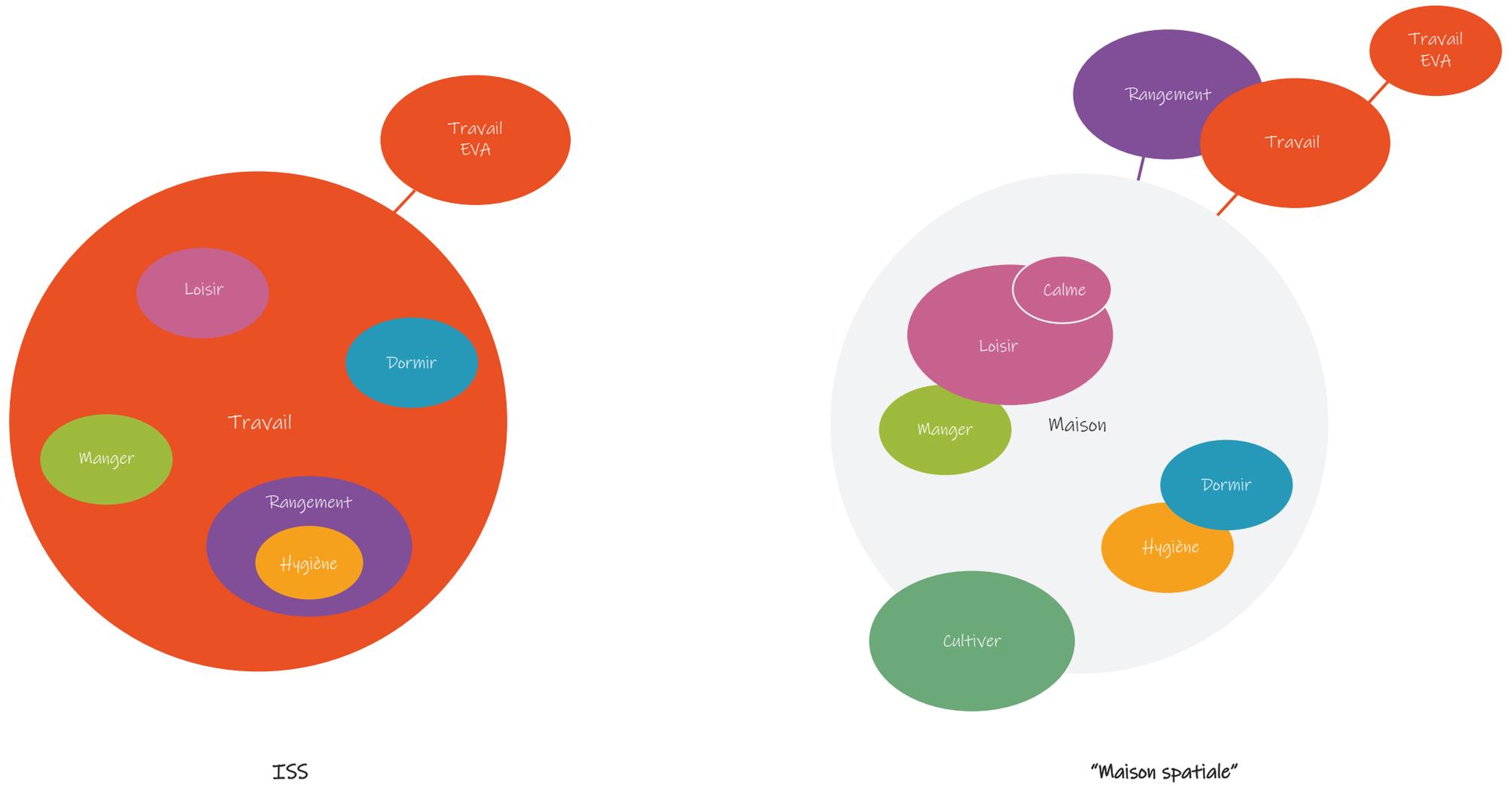
- Proximité totalement acceptée ou conseillée
- Proximité acceptable sous certaines conditions
- Proximité fortement déconseillée

Scénarios de spacialisation



cylindre  $V = \pi r^2 h$   
 $130 = \pi 4 \times 2 h$   
 $h = 5,2$

# Répartitions des fonctions



ISS

"Maison spatiale"

## Comparaison ISS et "maison spatiale"



ISS

Blanc  
Stérile  
Surface froide, lisse, métallique  
Espace resserré  
Espace centré sur le travail



Maison

Couleur  
Texture chaleureuse et rassurante  
Lumière et cycle journalier/saisonnier  
Large espace  
Espace de repos et de loisir pour le ressourcement  
Espace personnalisable

Collage d'inspiration "maison"



---

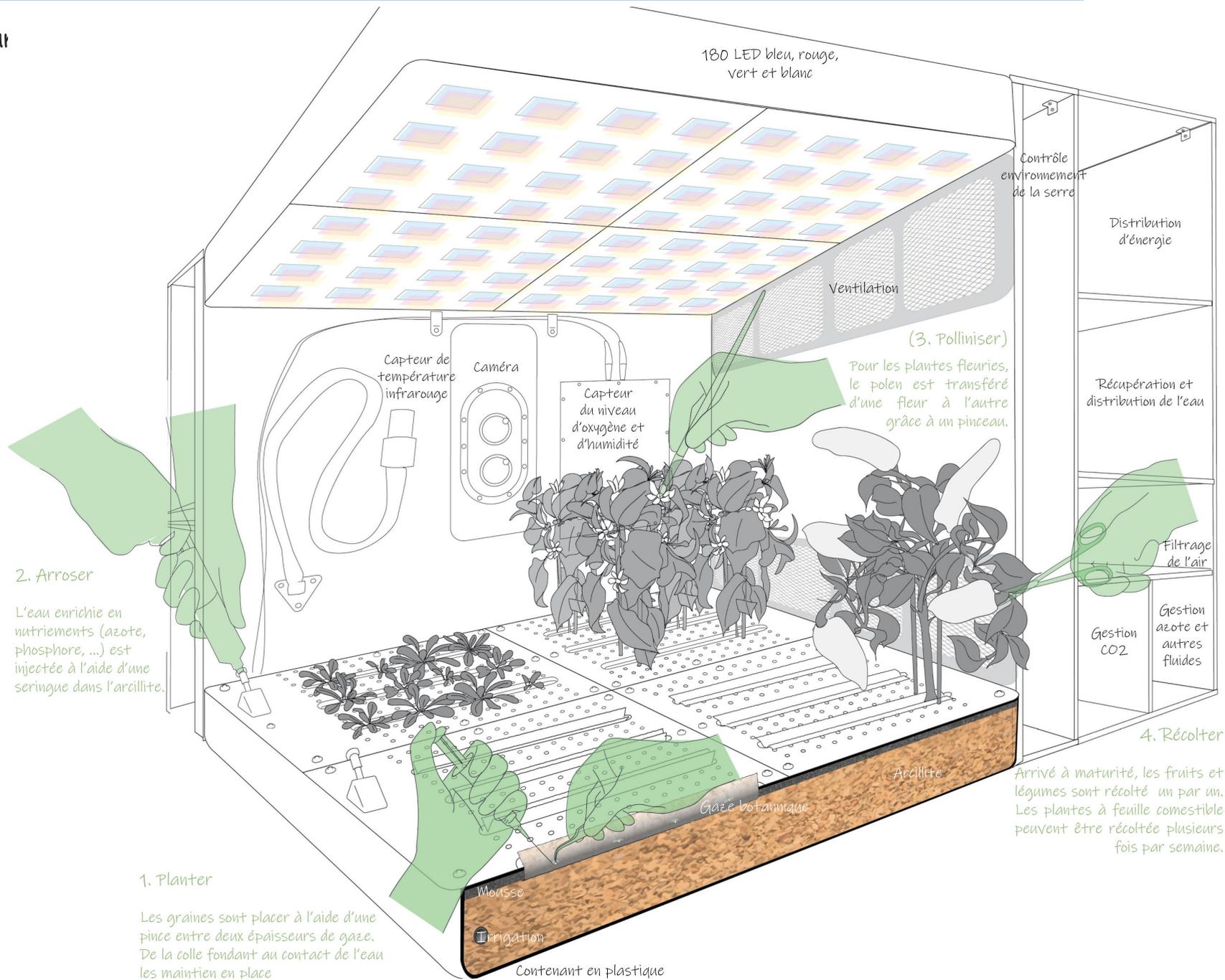
## Hypothèse

---

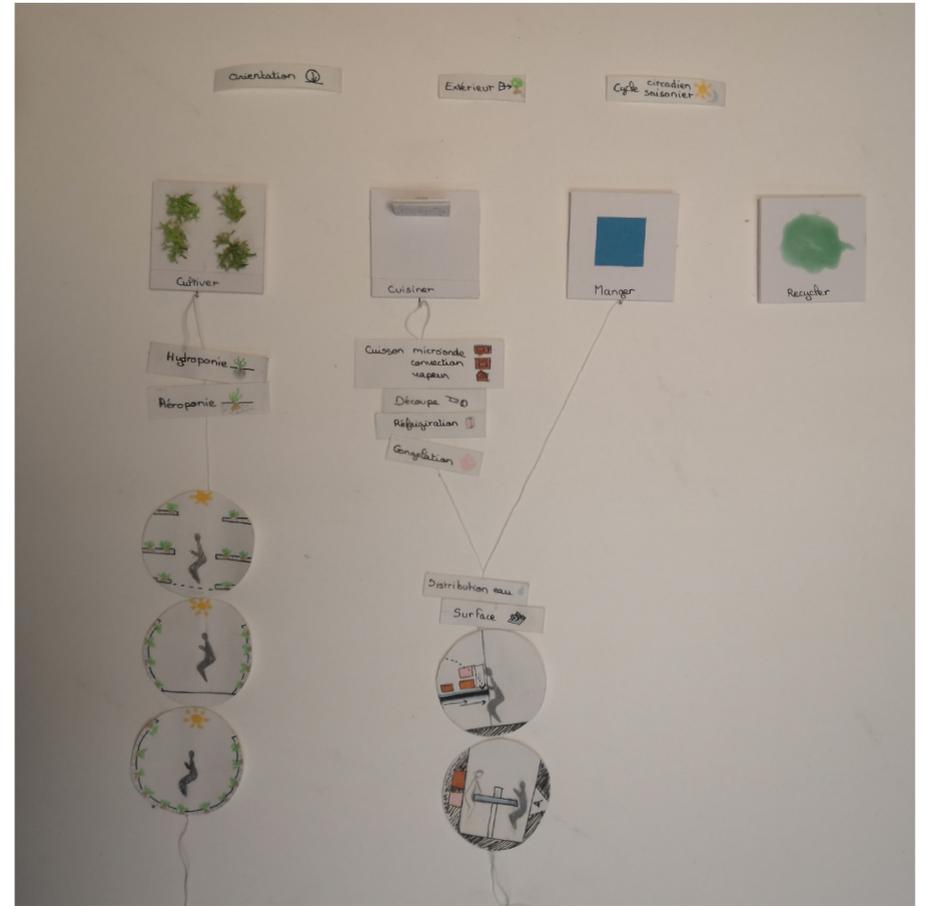
Les réflexions spatiale et programmatique n'ont pas aboutis à trouver la clé d'entrée du projet. Les essais de d'aménagements spatiaux ne permettent pas de démarer de manière profonde le projet et les essais étaient très hasardeux. Les programmes originaux trouvés ont fait de leur spacialisation une grande difficulté par manque de référence.

En observant mes premiers dessins d'analyse du corps humain en apesanteur, j'y ai découvert une attention au geste. J'ai voulu ainsi introduire un ensemble de gestes nouveaux en lien avec le programme souhaité et trouver la clef de la traduction spatiale du projet.



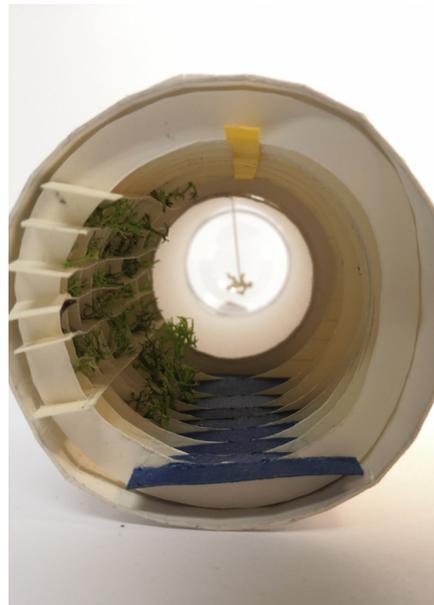
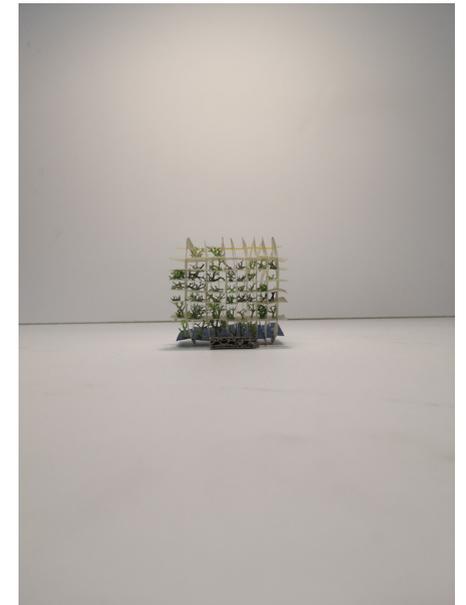
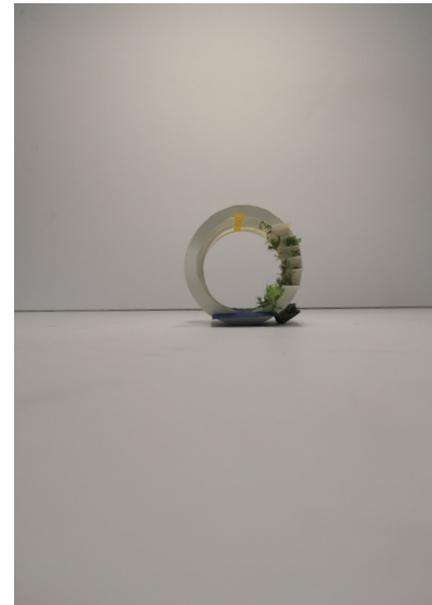


# Maquettes d'intention

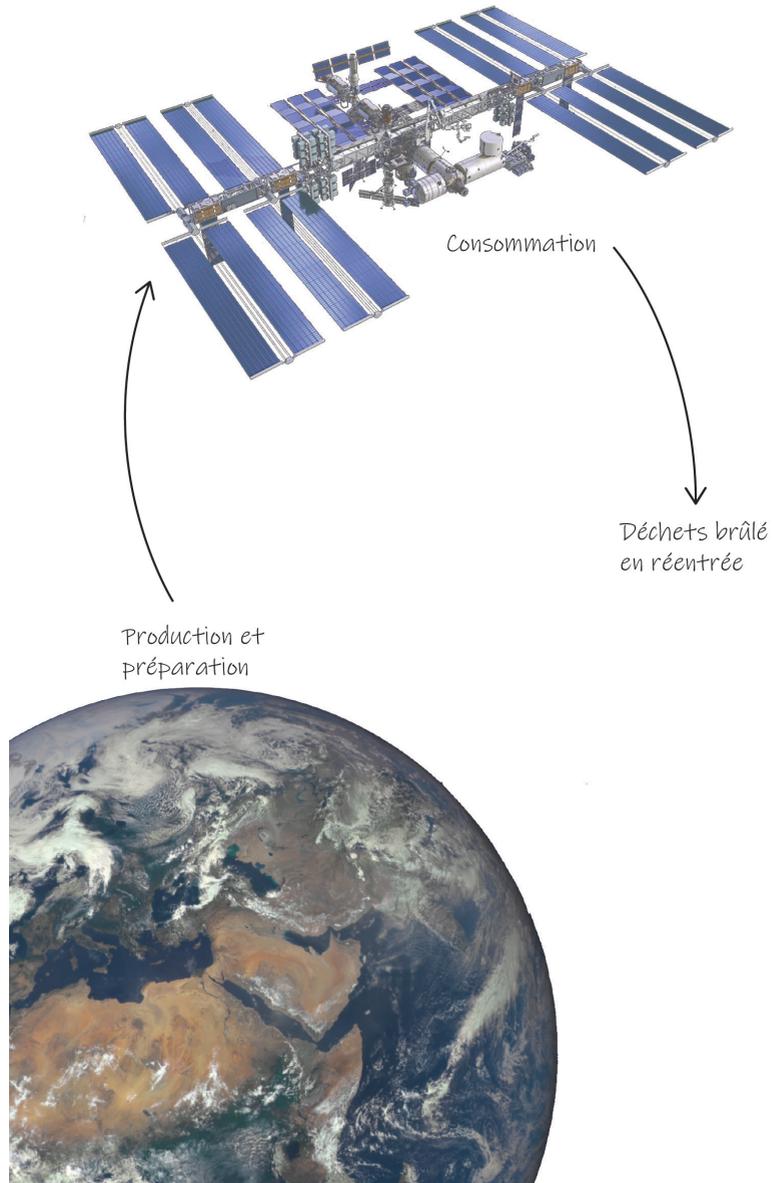


---

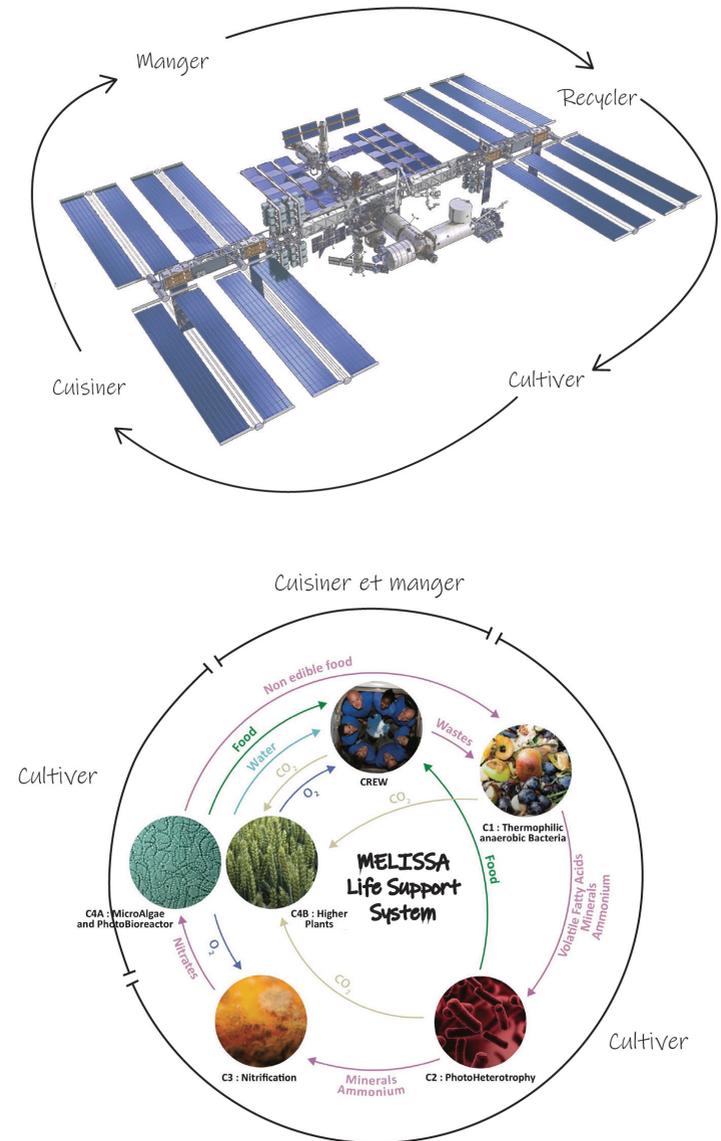
Maquette concept



## Situation actuelle



## Hypothèse



---

école nationale  
supérieure  
d'architecture  
de **paris-belleville**

---