

Le programme de séances d'exploration de l'univers spatial est engagé par l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire arts-sciences du CNES dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial. La troisième séance pose la question d'habiter l'Espace. Comment rendre cet habitat spatial, qu'il soit en orbite ou posé sur un sol extraterrestre, vivable pour les humains ? Quelles sont les prérequis, les exigences, les solutions, et les perspectives ?

Séances d'exploration de l'univers spatial

Séance n°3 : Habiter l'Espace

Observatoire de l'Espace, laboratoire arts-sciences du CNES

Séances d'exploration de l'univers spatial

Dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial, l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire arts-sciences du CNES a ouvert un programme triennal de séances d'exploration de l'univers spatial.

Chaque séance d'exploration aborde une notion qui revient régulièrement dans les projets d'artistes et d'écrivains du programme, afin de donner accès à un large savoir sur le thème évoqué. Témoignages d'acteurs du monde spatial, exposés de chercheurs en sciences exactes ou en sciences humaines, présentation de documents d'archives documentaires ou audiovisuelles composent le programme de chaque séance. Un temps d'échanges et de discussion est également réservé à la fin de chaque séance entre les participants et avec les intervenants.

Les premières séances d'exploration ont été consacrées au corps transformé et au confinement, explorant ce que l'environnement spatial fait au corps et à l'esprit.

La troisième séance s'est concentrée sur la question d'habiter l'Espace. Comment rendre cet habitat spatial, qu'il soit en orbite ou posé sur un sol extraterrestre, vivable pour les humains ? Quelles sont les prérequis, les exigences, les solutions, et les perspectives ?

Des acteurs du monde spatial ont évoqué leurs travaux sur le sujet, de la conception de cet habitat jusqu'aux moyens de récréation d'un écosystème qui rend ce milieu de vie confiné supportable.

Christophe Kihm, critique d'art et professeur à la HEAD, a discuté les interventions de cette séance animée par Michel Viso (CNES).

Programme

La séance s'est organisée autour de trois grands axes :

Vivre dans les habitats spatiaux : Audrey Berthier du MEDES (institut de physiologie et médecine spatiale) s'exprime sur les supports vie des astronautes qui vise à maintenir un environnement sain pour l'équipage en lui fournissant les ressources nécessaires (eau, nourriture, air), en optimisant l'utilisation de ces ressources (recyclage) et en contrôlant la qualité de l'environnement qui l'entoure. Une question essentielle en vue des futures missions d'exploration.

Son intervention est introduite par :

Extrait du *Jardin de Kanashima*, Pierre Boulle, 1964 :

« [...] j'ai voulu aménager le plus agréablement possible mon domaine. Je suis rentré dans ma cabine pressurisée. J'ai ouvert le paquet contenant quelques objets personnels précieux que j'ai pu apporter. Mon bagage renferme une boîte de peinture, des feuilles à dessin, des papiers de différentes couleurs, quelques outils de jardinage, trois kimonos, deux bouteilles de whisky écossais et quelques autres menus objets. Le tout pèse environ une vingtaine de kilos. Cela a été possible parce que je suis beaucoup plus léger que le cosmonaute prévu pour le voyage et, aussi, bien entendu, à cause de la grande simplification apportée au programme.

Je suis ressorti avec mes outils. Je me suis mis dans la tête de composer un jardin à l'intérieur de la circonférence. Je suis allé chercher mes matériaux en dehors du cercle. J'ai enlevé la poussière et attaqué le sol à la pioche. J'ai réussi ainsi à me procurer des rochers de formes et de tailles très diverses. Je les ai ramenées dans mon domaine sans trop d'efforts, même les plus gros : ils ne pèsent que le sixième de leur poids sur la Terre. J'ai composé ainsi quelques massifs, inégalement espacés, et me suis ingénié çà leur donner une structure pittoresque. Certes, mon jardin ne peut se comparer à celui du temple Zen de Ryoan-ji, ni à quelques autres fameux. Je n'ai pas le temps, ni surtout la science nécessaire pour réaliser un chef-d'œuvre. Cependant, il l'emporte sur tous ceux-là par un élément : la nature exceptionnelle des matériaux. Les gros blocs de lune que je transporte seraient considérés chez nous comme des trésors. J'ai ramassé aussi des météorites venus d'autres mondes, que l'on trouve à profusion dans la poussière. Aucune collection équivalente n'en existe sur la Terre. J'ai décoré mes îlots rocheux avec ces cailloux insolites. J'ai travaillé longtemps avant de trouver une harmonie des formes et des intervalles qui me satisfassent. Finalement, je ne suis pas mécontent du résultat. C'est une honnête réalisation d'amateur.

J'ai ensuite déployé mes rouleaux de papier. J'en ai choisi un d'une couleur verte, qui rappelle celle des sous-bois. Je l'ai découpé en petits morceaux et j'ai inséré les fragments dans certaines anfractuosités de la pierre. Un peu de poussière très fine a rendu les raccords invisibles et suscité d'autres contrastes de couleurs.

Sous l'éclairage doux du disque terrestre, le papier peut très bien figurer la mousse et je m'amuse à me laisser prendre à cette fiction.

Alors a commencé le ratissage. Là encore, je suis un jardinier privilégié. Je n'ai pas eu à aller chercher au loin du sable rare. La finesse de la poussière lunaire se prête admirablement à mon dessein.

Quand j'ai commencé à manier le râteau pour tracer les sillons, me souvenant inconsciemment de certaines courbes, certaines ondulations, qui m'avaient impressionné dans un jardin de Kyoto, j'essayais maladroitement de les imiter. J'y ai vite renoncé. Cela ne s'harmonisait ni avec mon domaine, ni avec mon esprit. Je me suis contenté de tracer des rides concentriques s'élargissant depuis la capsule jusqu'à la circonférence du cercle, laissant seulement la place pour quatre allées radiales, que j'ai bordées de météorites, et où je pourrais me promener sans abîmer mon ouvrage. Je me suis amusé à donner des noms à ces allées. J'ai marqué ces noms sur de petits écriteaux en papier, que j'ai plantés à l'entrée de chacune.

J'ai travaillé ainsi pendant plusieurs heures et le résultat final ne m'a pas déçu. Est-ce un lieu parfaitement convenable pour la méditation ? Cela, je n'en suis pas certain. Je m'interroge aussi sur le motif qui m'a poussé à édifier ce jardin en style « Zen ». Est-ce une tentation instinctive de m'initier à la doctrine, que je connais mal, mais qui, malgré un certain attrait, m'a toujours paru un suspecte ? Je n'en suis pas sûr. J'essaierai de voir un peu plus clair en moi-même si j'en ai le loisir. Pour l'instant, je suis plutôt porté à croire que mon mobile le plus puissant était la volonté de créer le premier jardin Zen sur la Lune."

L'évolution des habitats spatiaux : Max Grimard, de la société Airbus, était en charge des avant-projets Vols habités. Il présente un panorama des infrastructures spatiales habitées actuelles ou prévues pour le futur, en orbite basse (ISS, tourisme spatial), autour ou sur la Lune et vers Mars. Comment répondre aux contraintes imposées par les facteurs humains ? Quels besoins et quelles solutions ? Son intervention est introduite par :

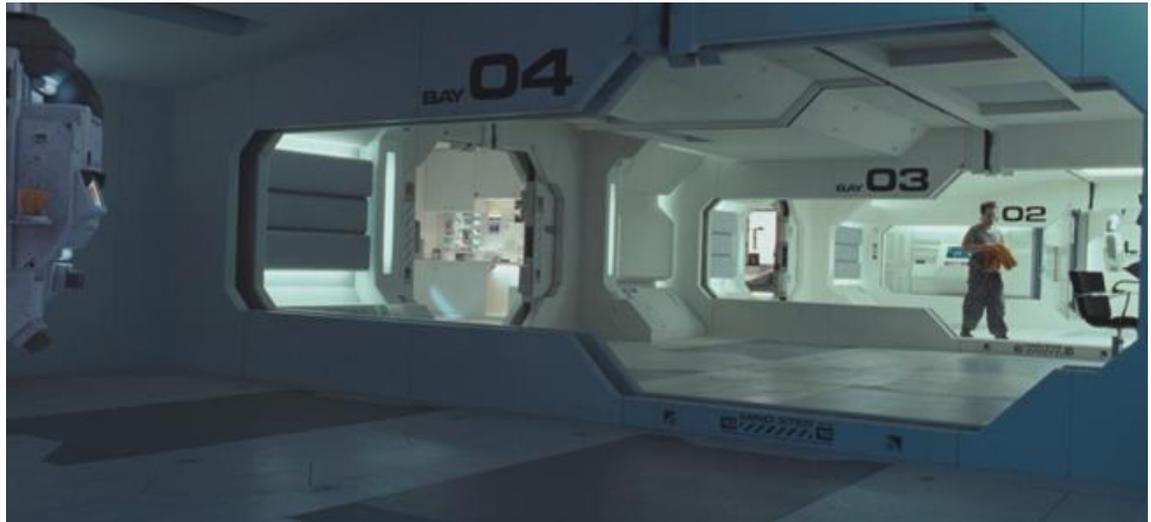
Extrait de l'installation de l'intérieur de l'ISS, rushs de la NASA où l'on voit le travail de déballage et de câblage de la station.



Inventer et tester les nouvelles technologies des habitats spatiaux : Peter Weiss est responsable pour la société COMEX du développement de SHEE (Space habitat for Extreme environment), un programme qui vise à la construction d'un module d'habitat extraterrestre. Il révèle ainsi que vivre dans l'Espace c'est aussi s'éloigner de la Terre et de son satellite.

Son intervention est introduite par :

Extrait de *Moon*, film britannique réalisé en 2009 par Duncan Jones : Sam Bell termine son séjour dans une station lunaire. Mais il voit et entend des choses étranges.



Biographies

Audrey Berthier est ingénieur biomédical à MEDES, l'Institut de Médecine et Physiologie Spatiale, où elle est responsable des activités "innovations et applications" à l'interface entre l'exploration spatiale et le domaine de la santé. Elle a travaillé sur de nombreux projets dans le domaine de la médecine spatiale et des technologies biomédicales associées, dans le domaine du support vie pour la prévention de la contamination microbienne ainsi que sur des projets d'applications dans le domaine de l'e-santé.

Christophe Kihm est professeur à la HEAD–Genève, critique et commissaire d'exposition indépendant. Il est l'auteur de nombreux écrits concernant les arts, l'esthétique et la critique elle-même. Il a créé, en 2011, en compagnie de Renaud Loda et de Peter Szendy, le MAE (Musée de l'Art Extraterrestre). Ses recherches récentes portent sur les arts de l'action, la pédagogie et l'immaturité. Derniers ouvrages parus : L'épreuve de l'image. Techniques et compétences des corps (éditions Bayard). Transmettre l'art, figures et méthodes : quelle histoire ? (dirigé en collaboration avec Valérie Mavridorakis, éd. Les Presses du Réel).

Max Grimard a passé 6 ans à l'ONERA en tant qu'ingénieur de recherche en mécanique orbitale, il rejoint l'Aérospatiale aux Mureaux en 1986 pour intégrer l'équipe des Avants Projets, où il est en charge de dossiers liés à l'exploration spatiale habitée. Il reste dans ce domaine jusqu'en 1998 et traite de nombreux sujets tels que les stations spatiales, les véhicules de transport d'équipage, les scénarios d'exploration lunaire ou martienne. Il devient patron des avant-projets lanceurs et vol habité en 1994. Sa carrière se poursuit dans la stratégie et le business development chez EADS et Astrium avant de rejoindre en 2013 l'équipe Airbus Defence and Space Consulting, une organisation de consulting interne, où il est en charge du partage des connaissances. Il est membre de l'Académie Internationale d'Astronautique (IAA), où il a notamment présidé la Commission Space Policies, Law and Economics, et de divers comités techniques de l'International Astronautical Federation (IAF).

Peter Weiss est directeur du département Espace et Innovations à la COMEX. Détenteur d'une maîtrise en mécatronique, en robotique et d'un doctorat sur l'impact cinétique des sondes de prélèvement, il a derrière lui 15 ans d'expérience dans la direction de projets industriels et de recherche dans le domaine de la mer profonde ainsi que dans le domaine de la robotique spatiale et des simulations de sorties extravéhiculaires. Il coordonne à présent le projet FP7 MOONWALK et a la responsabilité des projets SHEE (Space habitat for Extreme environment), BIOMODEXO (ESA), LUNA study (ESA), MOONDIVE study (ESA) et DEXROV (H2020). Il a également travaillé pour le DLR (agence spatiale allemande) sur le moteur d'un bras robotique, au MIT sur le développement de muscles artificiels pour des explorateurs planétaires robotiques auto-transformants, ou encore à l'université polytechnique d'Hong Kong sur un dispositif de prélèvement robotique en microgravité pour la mission PHOBOS-GRUNT.

Synthèse de la séance

Comment rendre cet habitat spatial, qu'il soit en orbite ou posé sur un sol extraterrestre, vivable pour les humains ? Quelles sont les prérequis, les exigences, les solutions, et les perspectives ?

Ce sont à ces questions que la séance d'exploration a voulu apporter un éclairage.

1. Les contraintes de l'habitat spatial :

L'habitat spatial répond aux contraintes du système clos, il faut subvenir à des besoins en énergie notamment et en protection. En effet, un habitat est avant tout une coque qui protège de l'environnement extérieur et permet de vivre, d'où l'importance également de l'aménagement interne de cette coque. La construction repose ainsi sur deux types de contraintes : les contraintes clés d'ordre général et les contraintes liées au type d'habitat.

a. Les contraintes clés :

Les contraintes clés sont le confinement (la possibilité de sortie ou non), l'aménagement et le zoning, la perte de la gravité qui entraîne entre autre le mal de l'espace, la durée de la mission, la sauvegarde des astronautes, l'atmosphère et la gestion des entrées et sorties, et enfin les accélérations qui nécessitent des structures rigides.

b. Les contraintes liées au type d'habitat :

Les contraintes liées à l'habitat orbital qui s'additionnent ont trait à la conception architecturale, compacte ou éclatées, selon l'usage général de la station, et donc à son assemblage selon le véhicule de transport des tronçons. Par exemple, la navette spatiale permettait des architectures plus complexes car elle possédait des bras robotiques.

Les contraintes liées à l'habitat de surface (base) sont différentes car si elles rejoignent toujours la connexion ou non de modules, cette fois, on peut utiliser des outils de construction connus tels que des grues ou des véhicules. Ici, la typologie de mission a une grande incidence sur l'architecture, par exemple pour une base lunaire il faut des zones de refuge et prévoir un protocole de missions de secours en cas de problème technique ou humain (maladie). En revanche, aucune mission de secours n'est possible pour les bases plus lointaines comme sur Mars, donc les infrastructures diffèrent, il s'agit de sauvegarde.

Les contraintes liées à l'habitat de véhicule varient selon la durée. Les transports « courts », soit inférieur à une semaine, sont réalisés dans des véhicules de type capsule. Pour les transports de longue durée, on se cale plus ou moins sur les besoins d'une station orbitale, mais ces véhicules restent pour l'instant dans le domaine de la prospective.

c. Les contraintes de vie :

A ces contraintes de structure s'ajoutent des contraintes de vie, c'est-à-dire des systèmes de support-vie qui permettent de vivre dans l'architecture. L'environnement doit être sain et viable et répondre aux mêmes contraintes que sur Terre avec en sus un haut degré de recyclage. La sécurité de l'environnement doit être assurée : température, humidité, pression, absence de polluants dans l'air, contrôle microbien pour prévenir les risques de moisissures et santé. La complexité est de dimensionner les besoins journaliers d'un être humain.

Pour assurer ce support-vie, il existe deux possibilités, tout d'abord le système à boucle ouverte où l'on réapprovisionne les ressources, un système viable pour des habitats en orbite terrestre donc accessible facilement. Ensuite le système à boucle fermée qui fonctionne sur un recyclage complet sans aucun réapprovisionnement. Actuellement on fonctionne en boucle ouverte avec un recyclage important où il faut trouver un équilibre entre ce qu'on peut recycler et ce qu'on peut amener.

Pour les futurs missions d'exploration ou d'installation, il faut donc améliorer l'autonomie pour éviter une maintenance continue des systèmes comme sur l'ISS et optimiser la fiabilité des outils de contrôle environnemental. L'idéal serait de pouvoir mettre au point un système qu'on peut placer en pause lorsque le lieu n'est pas habité et réactiver avec le retour de l'être humain. On pense également à des systèmes biorégénératifs de plantes et micro-organismes qui serviraient de photobioréacteurs, c'est-à-dire qu'ils fabriquent de l'oxygène. Il existe plusieurs projets clos internationaux tels que *Biosphère 2* (USA), BIOS-3 (Russie) ou *China Lunar Palace* (Chine).

2. Les types d'habitats spatiaux :

a. Les habitats réalisés :

Les premiers habitats spatiaux sont en fait des capsules transportant un à deux passagers pour un temps court tels que les Soyouz, l'espace à vivre est plus que réduit, 5m³ puis 8,5m³ actuellement, il s'agit avant tout d'un véhicule lancé sur une trajectoire, tel un projectile. Ces conditions de vie difficile se retrouvent aussi dans les missions *Apollo*, plus longues où trois astronautes devaient se partager 6,5m³. La suite de ces véhicules a été la navette spatiale qui permettait un environnement de 72 m³. Ce nouvel espace permettait de dépasser la simple survie assurée par les premières capsules pour développer un certain confort avec des toilettes, un coin repas et des compartiments de repos individuels.

L'architecture des stations orbitales occupe une place importante dans l'habitat spatial. Dans l'histoire, on peut compter 4 stations réellement construites. La première est la station soviétique *Saliout* qui a vu 17 missions et une habitation continue maximale de 137 jours. Elle s'organisait avec un équipage de 2 à 3 personnes chacun profitant de 60 à 70 m³. Vient ensuite le *Skylab* américain qui mesurait 6m60 (par comparaison, l'ISS en mesure 4), taille importante permise grâce au 3ème étage de la

fusée *Saturn*. En effet, les dimensions sont avant tout tributaires des véhicules de transport. Ainsi, la station MIR est proche de l'ISS dans sa conception mais ne possède pas de grande structure car reste tributaire de modules assemblés par amarrage direct.

b. Les habitats prospectifs :

Dans les années 70-80, il y a eu des projets de station basés sur la contrainte de la navette spatiale mais avec une idée architecturale différente. Des architectures plus éclatées comme la station *Freedom*, projet ambitieux en terme d'utilisation puisqu'elle devait avoir des nœuds de transport liés à la navette. C'est-à-dire que la navette pouvait s'amarrer à la station et pouvait de là servir de moyen de propulsion à un satellite pour l'envoyer en orbite géostationnaire. En ce qui concerne le futur des stations en orbite terrestre, on pense principalement en terme de place et notamment de diamètre de module. Les essais ont commencé avec le module gonflable *Transhab* qui préfigure des recherches sur l'exploitation commerciale (hôtel).

Quant aux tendances à venir, elles demeurent incertaines. Beaucoup de pays asiatiques sont intéressés par la Lune et l'idée de base lunaire. La NASA s'était un temps positionnée en renouvelant le projet *Apollo* avec le projet *Constellation*, abandonné en 2010.

c. Elaborer les structures :

Comment tester ces architectures, leur résistance, leur ergonomie, avant de les envoyer dans l'espace ? Il est nécessaire de simuler les conditions spatiales sur Terre. On sait que les astronautes s'entraînent dans une piscine aux sorties dans l'espace, l'immersion dans l'eau est donc une bonne solution pour tester les modules habitables mais la mer est préférée à la piscine. Les courants et mouvements permettent entre autres choses de simuler plus de situations dans l'espace comme l'amarrage à un astéroïde.

Les contraintes de transport des modules de station (taille et poids) entraînent à repenser l'architecture capsulaire sur le mode du déploiement. En 2015, la COMEX et l'ISU ont mis au point le module SHEE, un habitat qui s'auto déploie à l'aide de moteurs. Lorsque SHEE est fermé il prend la place d'un container mais lorsqu'il se déploie il fait 6m de diamètre et peut accueillir deux personnes. Ce n'est pas uniquement la coque extérieure qui se déploie, mais également le mobilier intérieur, tout est intégré et pliable. Ce simulateur d'habitat est là pour permettre des tests grandeur nature non seulement pour le support-vie (recyclage d'air et d'eau) mais aussi pour le confort et le bien-être des équipages. On teste ainsi des écrans de lumière mais aussi des écrans vidéo pouvant afficher les prises de vues d'une caméra extérieure ou d'autres paysages, telle une fenêtre virtuelle.

Finalement, que prendre de la Terre ? Que transporter dans cette arche de Noé de l'astronaute qu'est l'habitat spatial ? L'environnement devient une extension du corps de l'astronaute visant l'autonomie. Le corps produit, avec des systèmes de recyclage, tout ce qui lui est nécessaire, l'habitat acquiert ainsi une certaine organicité dans cet aller-retour entre le corps et le système de support-vie. Hors, il semble exister un écart entre la réalité de cet habitat et les documents le présentant, souvent des plans ou des vues d'artiste. Quand on parle de cet habitat, qu'on l'explique, on le place du côté de l'architecture et du design des structures intérieures et extérieures et non du côté d'un espace de travail vécu. Il y a cependant une dimension d'atelier à prendre en compte dans l'emploi du temps des missions spatiales. En fait, on conçoit plus l'habitat sur le mode de la maison, de l'espace domestique. Un espace modulaire qui se déploierait tel un plan et s'activerait avec la présence de l'homme. Dans cet espace, le scaphandre est intégré comme un module miniature, réduit à l'extrême. Il devient l'interface entre l'intérieur et l'extérieur.

On le voit, la question de l'habitat doit prendre en compte plusieurs facteurs : les matériaux et la conception architecturale, le transport et l'assemblage, les systèmes de support-vie et l'homme à l'intérieur. Tout ceci donne l'habitabilité d'une station, d'une base ou d'un véhicule. En effet, au-delà des contraintes physiques de la coque extérieure et de l'espace intérieur qu'on peut déployer, une des choses les plus importantes à prendre en compte est le fait que cet espace est destiné à être habité, vécu, par un équipage. Bien sûr, on veille en premier lieu à la santé et à la sécurité de cet équipage, à maintenir son corps en bonne condition mais il faut également penser à son ressenti et à son bien-être psychologique. C'est là qu'apparaissent de nouvelles contraintes qui dépassent l'ingénierie et rendent l'habitat vraiment humain. Il faut prévoir des espaces accueillants pour la détente, le loisir et le confort mais aussi pour le partage entre membres d'équipages : espace personnel, fenêtre, table de repas, zone « salon ». La notion d'habiter l'espace ouvre ainsi à toute une nouvelle série de questions à explorer.

Pour aller plus loin...

Life Support Baseline Values and Assumptions Document, NASA, 2015,
<http://spacecraft.ssl.umd.edu/academics/697S15/TP-2015-218570.pdf>

HUMEX, A Study on the Survivability and Adaptation of Humans to Long-Duration Exploratory Missions, ESA, nov. 2003, <http://emits.sso.esa.int/emits-doc/RD1-AO-1-5173.pdf>

Etude MELISSA (*Micro-Ecological Life Support System Alternative*),
http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/Melissa

Habitat SHEE,
https://proxima.cnes.fr/sites/default/files/drupal/201609/default/prx_fiche-isu.pdf
<https://www.facebook.com/SHEE.eu/>
http://www.shee.eu/images/news/closing_shee-timelaps25x.mp4
<http://www.shee.eu/news>
<http://comex.fr/espace/>