

Il se traduisait par une perte de masse musculaire et une ostéoporose.

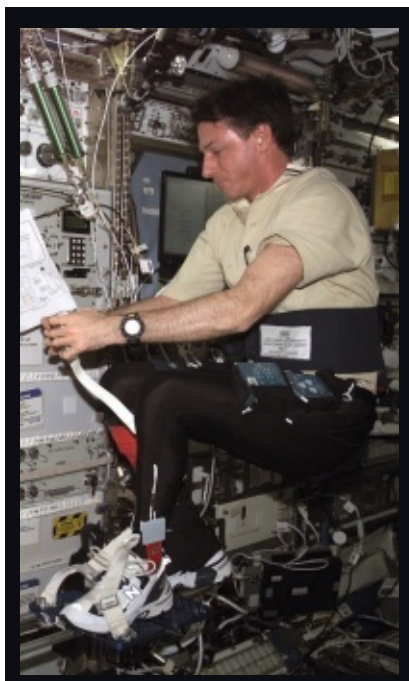
Pour réduire les risques et désagréments d'un séjour dans l'espace, les agences spatiales attachent une grande importance au développement d'un programme de contre-mesures efficaces. En ce qui concerne les conséquences négatives de l'impesanteur, l'intervention actuelle au sein de la Station spatiale internationale est l'exercice physique, destiné à compenser la perte de contraintes mécaniques (voir la figure 3). Les astronautes se soumettent à un programme d'exercice intensif durant une à deux heures par jour.

Ces heures de gymnastique, qui réduisent d'autant les activités directement liées à la mission, représentent un coût important. Aussi a-t-on avancé l'idée de créer une gravité artificielle au moyen d'une centrifugeuse (dont différents projets sont à l'étude, d'une simple chaise rotative à une centrifugeuse à long rayon comprenant non plus des nacelles, mais tout un habitacle), où les astronautes pratiqueraient des exercices physiques, voire dormiraient.

Un rayonnement cosmique intense

Contrairement aux perturbations liées à l'absence de pesanteur, l'exposition aux rayons cosmiques n'a pas encore de réelle solution et est considérée comme le risque majeur pour les explorateurs humains du Système solaire.

Sur Terre, l'atmosphère nous protège des rayonnements cosmiques de haute énergie constitués principalement de protons et d'ions. L'atmosphère contient environ un kilogramme d'air par centimètre carré de surface au sol, ce qui ramène la dose annuelle de rayonnement au niveau de la mer à 0,3 millisievert (le sievert, égal à un joule par kilogramme, est l'unité d'irradiation qui prend en compte la dose et la dangerosité des rayonnements reçus). Une mission vers Mars pourrait correspondre à une dose de 800 millisieverts par an, soit près de 5 000 protons traversant le corps humain par seconde et détruisant des liaisons chimiques sur leur passage. Le risque essentiel est l'endommagement irréversible de l'ADN des cellules, qui peut entraîner l'apparition de tumeurs. Les autres principaux effets biologiques des rayons cosmiques sont des effets dégénératifs correspondant à un



3. UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE ET UN SUIVI sont nécessaires pour les astronautes séjournant à bord de la Station spatiale internationale. On voit ainsi l'astronaute Michael Foale (en haut) équipé d'une vingtaine de capteurs qui mesurent l'effort des muscles et des articulations lors d'un exercice, et Edward Lu (en bas) courant sur un tapis roulant pour limiter la perte musculaire.

vieillesse accélérée des tissus, des effets aigus (des destructions tissulaires similaires à des brûlures principalement dans le système nerveux et les yeux en cas d'exposition très intense, c'est-à-dire pas dans les conditions actuelles des vols vers la Station spatiale internationale).

Éruptions solaires : danger !

Une exposition longue au rayonnement cosmique pourrait avoir des conséquences graves. Mais une exposition exceptionnelle à une éruption solaire s'accompagnant d'une éjection de masse coronale (un flux dense de particules de grande énergie) serait responsable d'une irradiation potentiellement mortelle.

Cela a des conséquences importantes sur la conception du vaisseau spatial. Il est inimaginable de munir ce dernier de boucliers, par exemple une couche isolante de plomb d'une épaisseur d'environ un mètre, car ils seraient bien trop lourds. L'une des solutions envisagées est de prévoir une zone de survie entourée de réservoirs d'eau ou d'ergols, tel l'hydrogène, qui constituent la meilleure protection passive contre les rayonnements. À l'heure actuelle, on parle davantage de protection active, fournie par exemple par le champ magnétique que créeraient des moteurs de propulsion à plasma. L'objectif serait de réduire le flux de particules à une dose que l'on définirait comme acceptable. Il faudrait cependant des champs magnétiques intenses, d'environ 20 teslas, mais on ignore les effets d'une exposition prolongée du corps humain à de tels champs.

Par ailleurs, un vol d'exploration de longue durée met à rude épreuve la santé psychologique des membres de l'équipage. Il y a d'abord le fait de vivre en petit groupe, en autarcie, dans un espace restreint et confiné, sans possibilité d'évacuation vers la Terre. De plus, une mission peut alterner des moments où la pression de travail est très intense avec des moments où l'ennui s'installe, étant donné la monotonie du cadre et de la vie quotidienne. Il faudrait aussi maintenir un bon esprit d'équipe au sein du groupe et entretenir les compétences techniques et professionnelles de chacun, pour une durée d'environ trois ans selon le scénario actuel d'un voyage vers Mars. Mission impossible selon certains... Contrairement aux défis physiologiques, les éléments de réponse ne nous sont pas,

ou peu, apportés par les vols spatiaux précédents ou par les missions dans la Station spatiale internationale, mais par des recherches portant sur des environnements analogues, c'est-à-dire des situations reproduisant les mêmes caractéristiques, ou au moins plusieurs d'entre elles.

Les environnements analogues peuvent se classer en deux catégories : les simulations et les situations naturelles. La simulation la plus connue est sans doute *Mars500*, qui s'est achevée en novembre 2011. Il s'agissait d'une mission simulant un voyage vers Mars, comprenant un équipage de six personnes enfermées dans un vaisseau reconstitué, à Moscou, pour la durée d'un voyage fictif vers la planète rouge. Si ces simulations permettent de nous renseigner sur des évolutions particulières liées à l'enfermement et à l'isolement, leur principal défaut est que la

perception psychologique du danger et de l'éloignement manque.

Les participants savent en effet que si une crise majeure impliquant un risque vital survenait, les agences organisant l'expérience interrompraient la mission. Or c'est précisément cet élément de danger et d'impression d'être seul au monde avec ses compagnons qui est cité par plusieurs chercheurs comme le déclencheur de ce qu'on appelle le « stress salutogène ». Concrètement, l'idée est qu'il faut un certain niveau de danger et de menace pour que nous soyons capables de mobiliser des ressources exceptionnelles, tant en termes de connaissances techniques que de compétences humaines, qui nous permettront de surmonter un problème grave survenant lors d'un voyage vers Mars. Tout comme il faut un agent pathogène pour stimuler notre immunité, il faut

une menace réelle pour que nous surmontions nos limites habituelles.

Les missions militaires des sous-marins nucléaires, les longs séjours dans des environnements hostiles – surtout en Arctique et en Antarctique – sont des situations d'étude idéales. L'Antarctique offre l'un des seuls environnements sur Terre où l'évacuation médicale est impossible pendant une longue période hivernale, et c'est précisément cet élément qui en fait un analogue des plus productifs pour la recherche spatiale. Au sein de la station polaire franco-italienne *Concordia*, l'Agence spatiale européenne conduit chaque année depuis 2005 une campagne de recherche en sciences de la vie pour tester les difficultés psychologiques et physiologiques liées à une mission de très longue durée dans un lieu confiné et isolé de tout (voir l'encadré page 61).

Le design au service des équipages

Avec des missions spatiales de longue durée telles que les futurs voyages vers Mars, les vaisseaux et les bases lointaines constitueront pour les astronautes un lieu de vie, et non plus un simple environnement de travail. Il s'agira alors de concevoir des architectures adaptées à la vie personnelle et collective de l'équipage, c'est-à-dire à l'ensemble des besoins physiques, psychologiques et sociaux des individus. Sur ce chantier de l'habitabilité, les architectes classiques et les designers industriels ont leur part, qui est de concevoir un aménagement des lieux répondant à ces critères et compatible avec les contraintes matérielles et opérationnelles de la mission.

Le premier designer industriel à avoir été sollicité par la NASA pour travailler sur l'habitabilité d'une station spatiale a été le Franco-Américain Raymond Loewy (1893-1986), dès les premiers coups de crayons de *Skylab*, en décembre 1967. Les propositions de Loewy furent décisives pour établir de grands principes d'habitabilité : des espaces individuels (en pratique minuscules, jusqu'à présent) où les astronautes peuvent se retirer et dormir, une table en triangle afin qu'aucun des trois astronautes ne « préside » les repas, et surtout un hublot permettant à l'équipage de s'échapper men-



L'INTÉRIEUR DE SKYLAB, la première station spatiale américaine, lancée en 1973 (et qui avait été précédée par la station russe *Saliout 1*, lancée en 1971). On voit le carré des astronautes, avec la table triangulaire emblématique du travail du designer Raymond Loewy et le hublot ouvrant sur les étoiles.

talement. Loewy travailla aussi beaucoup sur l'éclairage et les couleurs, afin de rétablir une distinction visuelle entre le sol et le plafond, deux notions physiques absentes en impesanteur, et de rompre la monotonie du lieu. Ces préconisations ont encore tout leurs sens. Mais, notamment avec l'avancée des connaissances biomédicales sur les séjours dans l'espace, les designers d'aujourd'hui ont devant eux un nouveau champ de réflexions pour intégrer à la vie de l'équipage des dispositifs palliant les effets né-

gatifs de l'isolement, du confinement ou de l'impesanteur.

Un exemple est l'obligation faite aux astronautes de la Station spatiale internationale de pratiquer du sport deux heures par jour. Actuellement, les équipements sportifs, placés dans l'habitable parmi les câbles et autres outils de travail, ne font pas de cette activité un plaisir. Les futurs équipages auront besoin d'un lieu confortable et spécialement consacré à cette activité, avec peut-être des dispositifs de réalité virtuelle permettant par

exemple aux astronautes de pédaler en se croyant en train de parcourir une petite route champêtre. Autre exemple : une bonne conception de l'éclairage, en collaboration avec des chronobiologistes et des luminothérapeutes, sera essentielle pour que les rythmes biologiques des astronautes soient préservés. Des démarches similaires sont déjà à l'œuvre à bord des sous-marins nucléaires, qui constituent des environnements analogues (espace réduit, plongées de plusieurs mois...).

De même, les designers auront à créer une salle de « bains » confortable où, même si la toilette est faite aux lingettes, la personne puisse se retrouver seule avec elle-même ; de concevoir des repas qui, malgré le conditionnement des plats en portions, nécessitent un peu de préparation culinaire et créent ainsi de la convivialité ; de penser les zones de repli des individus – la chambre, le lit, les toilettes – afin que ceux-ci supportent durablement le huis clos du vol ; et ainsi de suite. Autant de questions qui, prises isolément, peuvent sembler futiles, mais dont l'ensemble conditionne le bien-être des membres de l'équipage et, partant, le bon déroulement des missions longues.

Charlotte Poupon
Designer industriel, Paris