

centres hospitaliers, les agences spatiales et leurs départements médicaux ont mis en place une stratégie de réduction des risques reposant sur trois piliers : la prévention, les contre-mesures et l'autonomie médicale à bord.

Parmi les mesures préventives, la sélection drastique de sujets jeunes en excellente forme physique et mentale exclut certains risques de décompensation, c'est-à-dire la dégradation, d'un état pathologique chronique sous-jacent lors de la mission (comme une épilepsie, un asthme ou une insuffisance cardiaque). Une fois le recrutement effectué, une équipe médicale suit les astronautes pendant toute la phase de préparation qui précède leur mission. Les protocoles sont standardisés, et comprennent des tests d'effort, un contrôle de densité osseuse, des examens ophtalmologiques et audiométriques. Ils garantissent l'absence de pathologie avant le départ et serviront de données de référence pour la surveillance après le vol. Un confinement de quatorze jours imposé avant le décollage réduit le risque d'importer dans la station une pathologie infectieuse en phase d'incubation. Tout symptôme suspect entraîne l'exclusion de l'astronaute par précaution pour sa santé et celles de ses collègues. Un cas célèbre est celui

CHUTE LIBRE PERMANENTE

Contrairement à ce qu'on croit parfois, la Station spatiale internationale est bien soumise à la gravité terrestre (son intensité à 400 kilomètres d'altitude est d'environ 88 % de celle au niveau de la mer). La station ne s'écrase pas pour autant grâce à sa grande vitesse orbitale (28 000 kilomètres par heure) annulant l'effet de la pesanteur. Elle est donc, avec ses occupants, en chute libre permanente, faisant le tour de la Terre en 90 minutes. Mais s'il est spectaculaire de voir les astronautes flotter dans l'ISS, l'impesanteur est un vrai problème pour leur santé.

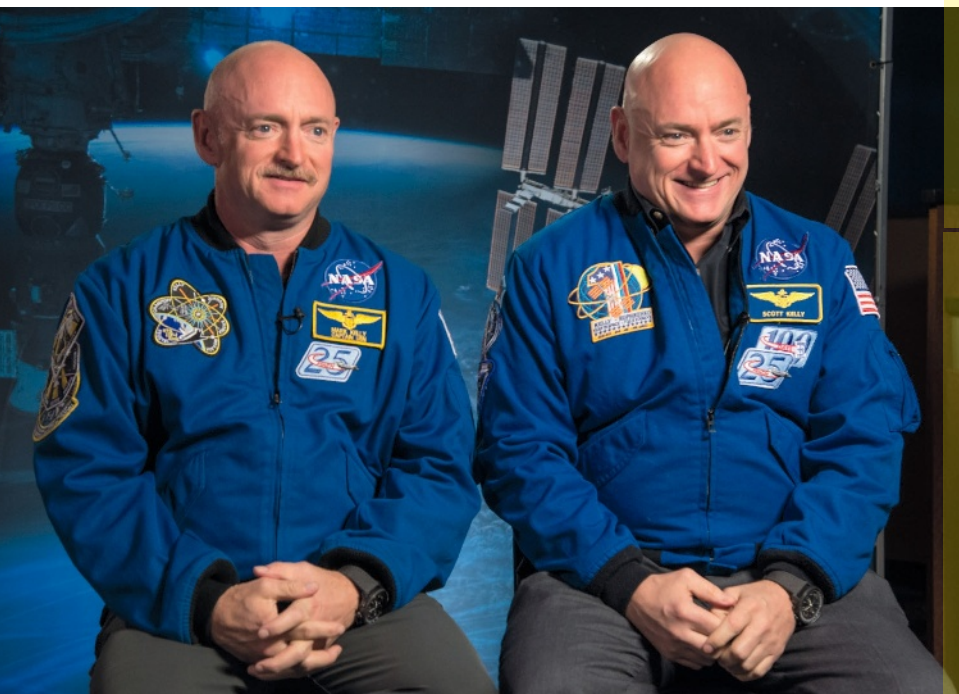
de Ken Mattingly, écarté de la mission *Apollo 13* en raison d'une suspicion de rubéole quelques jours avant le décollage.

Autre exemple de prévention, la surveillance étroite de l'environnement de l'ISS par le biais de l'EHS (Environmental Health System). Ce dispositif, constitué d'une multitude d'appareils de mesure, détecte d'éventuelles contaminations microbiologiques de l'eau ou des surfaces de la station. La qualité de l'atmosphère de la Station est également scrutée, afin d'avertir de la présence de gaz toxiques tel le formaldéhyde ou le monoxyde de carbone. Enfin, des dosimètres permettent de surveiller le risque radiatif, comme pour les travailleurs terrestres exposés à des rayonnements ionisants, au sein des centrales nucléaires ou des services de radiologie médicale.

En complément de ces mesures préventives viennent les contre-mesures. Ce terme définit l'ensemble des actions mises en place pour limiter l'impact physiologique ou psychologique d'une variable non contrôlable, comme l'impesanteur ou le confinement. Ainsi, pour faire face au déconditionnement musculaire causé par les vols spatiaux, les astronautes doivent s'astreindre à deux heures et demie de sport quotidiennes. L'ISS est ainsi équipée de différents appareils : tapis de course avec harnais, cycloergomètre (« vélo d'appartement ») ou encore l'Ared, pour *advanced resistive exercise device*, un appareil de musculation adapté à l'impesanteur. D'autres contre-mesures nutritionnelles, comme l'apport de polyphénols, sont à l'étude pour maintenir la masse musculaire lors de missions spatiales.

Ces deux premières lignes de protection (prévention et contre-mesures) sont efficaces et représentent la majeure partie de la stratégie de gestion des risques lors d'une mission en orbite terrestre basse. Malheureusement, dans cet environnement dangereux, la probabilité de se blesser ou de tomber malade ne peut jamais être totalement écartée. Certaines projections statistiques estiment que le risque de survenue d'un événement médical ou traumatique sérieux à bord d'une station orbitale pour une mission de six mois se situe entre 1 et 17 % par personne. L'exploration spatiale est d'ailleurs jalonnée d'antécédents médicaux. Avant la mise en service de l'ISS, entre 1961 et 1999, on dénombre dans la littérature 17 événements médicaux graves à bord d'un vaisseau en orbite, dont quatre ont nécessité une évacuation vers la Terre. Troubles du rythme cardiaque, infection urinaire sévère, céphalées rebelles aux traitements antalgiques ont ainsi conduit les responsables de vol à abréger la mission plutôt que de risquer l'impasse thérapeutique au sein du vaisseau.

La troisième ligne de défense correspond donc à la dotation de capacités opérationnelles médicales et chirurgicales au sein de



Les astronautes, et jumeaux homozygotes (au patrimoine génétique identique), Scott et Mark Kelly ont participé à la *twins study* de la Nasa. Entre le 27 mars 2015 et le 1^{er} mars 2016, Scott a passé 340 jours à bord de l'ISS pendant que Mark est resté sur Terre. L'analyse comparative des frères a permis d'étudier les effets d'un vol longue durée dans l'espace. De nombreuses fonctions biologiques ont été perturbées lors de la mission. La majorité d'entre elles sont revenues à la normale après le retour sur Terre : régulation et expression génétique et épigénétique, longueur des télomères, masse corporelle (perte de 7 %), composition du microbiote intestinal. D'autres fonctions ont été altérées par le stress du retour sur la planète comme le système immunitaire et les performances cognitives. Quelques-uns de ces changements ont persisté encore six mois après la fin de la mission.

l'ISS, afin de rendre l'équipage le plus autonome possible face aux différents imprévus de santé. C'est le rôle du Health Maintenance System, qui regroupe à bord de l'ISS plus de 190 produits pharmaceutiques, organisés en kits médicaux adaptés au degré d'urgence et ciblant les pathologies à plus forte probabilité d'incidence. Par exemple, les affections bénignes qui ne présentent pas de risque d'aggravation secondaire sont facilement traitées grâce au kit «ambulatoire», assez bien fourni pour les petits maux du quotidien (mal de l'espace et nausées, constipation, petites brûlures, etc.). La station est équipée d'échographes dont les images sont d'une grande aide diagnostique dans la détection de nombreuses pathologies.

DES BACTÉRIES AGRESSIVES

Les astronautes disposent également d'une large gamme d'antibiotiques pour traiter par exemple des infections bactériennes pulmonaires ou urinaires. Cependant, dans l'espace, le risque infectieux est accentué par la combinaison de plusieurs facteurs. À cause de l'environnement clos et confiné, la transmission interhumaine d'agents pathogènes est facilitée. Or les défenses immunitaires des astronautes sont affaiblies, probablement en raison du stress de la mission, de la perturbation du sommeil et des rythmes circadiens, de l'environnement radiatif et d'une alimentation aux apports nutritionnels limités. Enfin, différentes études, comme celle menée en 2013 par Elisabeth Grohmann, de l'université technique de Berlin, ou celle en 2020 conduite par Sharmila Bhattacharya, de la Nasa, suggèrent que les conditions de la station spatiale (environnement clos, artificiel et hypobare) seraient propices à l'émergence de bactéries plus résistantes aux traitements (par la formation de biofilms bactériens qui entravent la pénétration et l'efficacité des antibiotiques), voire parfois même plus virulentes.

À cela, il faut ajouter que l'environnement spatial radiatif accélère la dégradation des principes actifs médicamenteux, pouvant les rendre inefficaces sur le long terme, posant des problématiques de péremption sur les vols longue durée, notamment pour des vols vers Mars, où un ravitaillement en cours de mission est impossible. Certaines équipes travaillent à la conception de conditionnements isolant les médicaments des rayons cosmiques. D'autres, comme Karen McDonald, de l'université de Californie à Davis, visent à doter la station de capacités de production médicamenteuse *in situ*... grâce à la culture de laitues modifiées par génie génétique!

Enfin, en dernier recours en cas d'accident grave, le kit médical avancé de support de vie (*advanced life support pack*) est équipé



pour répondre aux premiers instants d'une urgence médicale avec un défibrillateur, du matériel pour procéder à une intubation trachéale, un respirateur sommaire, ainsi que des médicaments permettant les premières étapes d'une réanimation comme l'adrénaline ou l'atropine.

Manier ce matériel et ces procédures de soin nécessite des compétences et des précautions. Lorsqu'un astronaute est lui-même issu du corps médical, il est naturellement désigné référent des soins à bord. Mais la plupart du temps, cette responsabilité revient à un astronaute qui n'est pas médecin et qui aura bénéficié d'une dizaine d'heures de formation en premiers secours. Dénommé *crew medical officer* (CMO), il doit être capable d'effectuer des gestes techniques aussi variés

À bord de la *Station spatiale internationale*, tous les astronautes doivent s'astreindre à 2,5 heures de sport par jour, à l'image de Thomas Pesquet, ici sur le cycloergomètre.