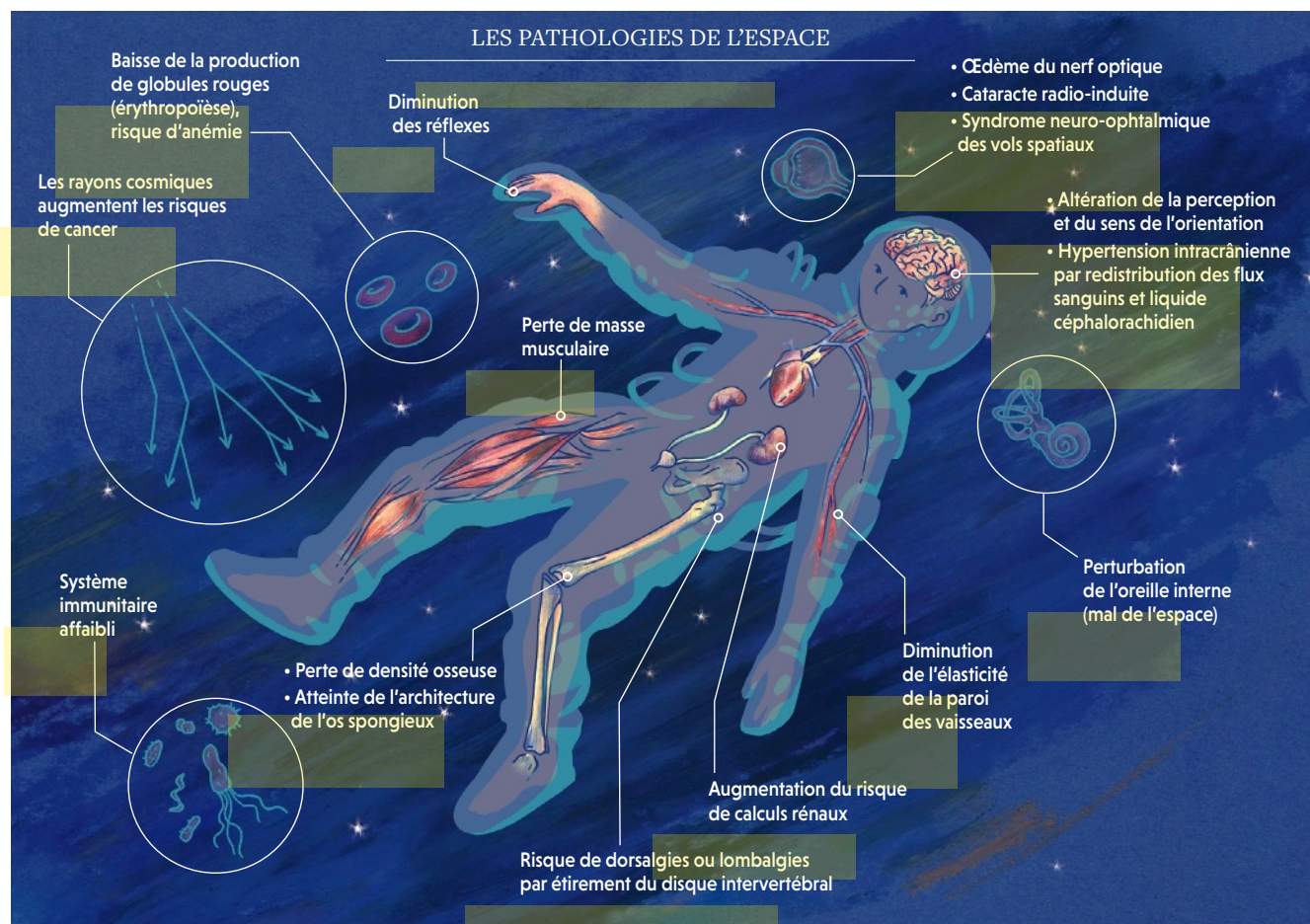


vitales. À l'intérieur de celles-ci, les astronautes évoluent dans une atmosphère hypobare (0,3 bar), qui améliore la souplesse de la combinaison, nécessaire à la motricité et à la manipulation d'outils. Cette transition entre l'atmosphère de la station et l'atmosphère hypobare de la combinaison est contrôlée et préparée au sein d'un sas de dépressurisation, en vue de protéger les astronautes du risque de maladie de décompression, similaire à celle, bien connue, des plongeurs. Enfin, il existe une menace importante de collision avec des débris spatiaux ou des micrométéorites, qui circulent à plusieurs kilomètres par seconde.

Autre contrainte environnementale, et non des moindres : l'impesanteur. Sur Terre, nous pouvons marcher, sauter, courir, garder l'équilibre, ajuster notre débit cardiaque à l'effort et aux changements de position grâce à notre physiologie, adaptée à la pesanteur terrestre. Nos muscles, nos os, notre oreille interne, notre pompe cardiaque et notre réseau vasculaire ont évolué depuis des millions d'années en présence de cette force. Cependant, à 400 kilomètres d'altitude, les astronautes sont en chute libre (voir l'encadré page 50). Chaque système physiologique de l'organisme tente de

retrouver une nouvelle homéostasie, c'est-à-dire un nouveau point d'équilibre fonctionnel, mais ces adaptations ont des limites. L'absence de contrainte... devient une contrainte : l'os se déminéralise et se fragilise peu à peu, la réduction des sollicitations fonctionnelles entraîne par exemple une déminéralisation osseuse rapide qui aggrave le risque de fractures et de formation de calculs rénaux. Les muscles posturaux s'atrophient, les parois des vaisseaux sanguins s'épaississent. L'acuité visuelle baisse parfois à cause, entre autres, d'une hypertension intracrânienne accompagnant la redistribution des flux sanguins vers la moitié supérieure du corps. La coordination sensori-motrice est altérée. Cette suppression de la pesanteur entraîne un ensemble de symptômes que l'on retrouve lors du vieillissement ou d'un alitement prolongé, ce qui prédispose à la survenue de certaines pathologies et réduit la réserve physiologique en cas d'affections médicales ou traumatiques. Même la régulation et l'expression génique sont modifiées, comme cela a été constaté lors de la remarquable *twins study* (voir la photo page 50).

Pour protéger la santé des astronautes dans cet environnement exceptionnel et loin des



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.

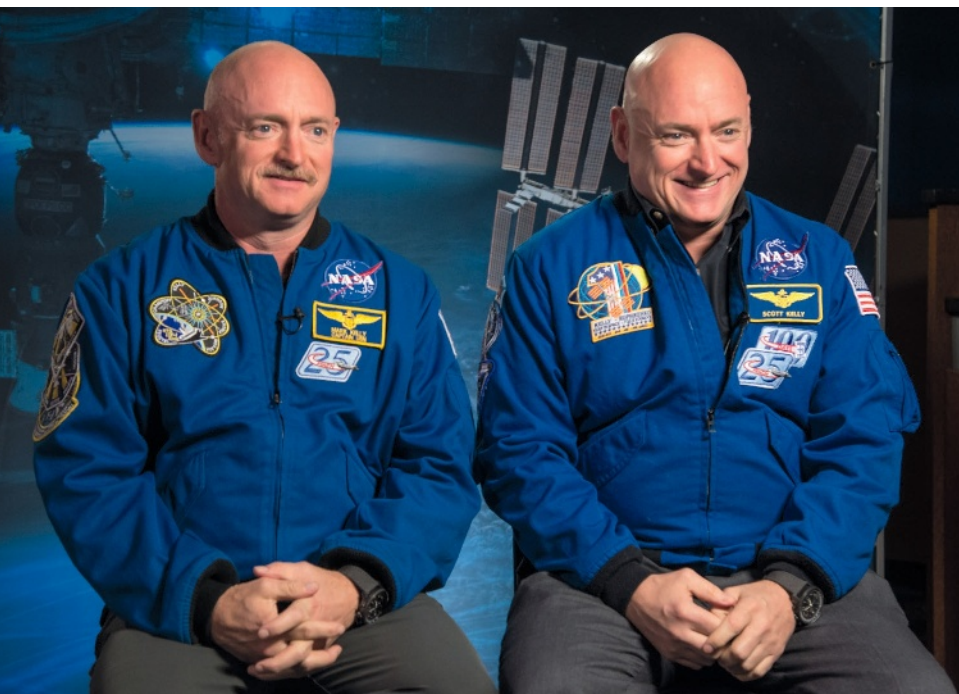
de Ken Mattingly, écarté de la mission *Apollo 13* en raison d'une suspicion de rubéole quelques jours avant le décollage.

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.