

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.

ADAPTER LES PROCÉDURES D'URGENCE TERRESTRE AU MILIEU SPATIAL : L'EXEMPLE DE L'INTUBATION TRACHÉALE



Essai d'intubation sur mannequin en approche dite « au piolet ». L'impesanteur exige de modifier l'approche ergonomique de nombreuses procédures médicales d'urgence.

L'intubation trachéale est un geste d'urgence permettant de sécuriser et contrôler les apports en oxygène (en volume, en fréquence et en fraction inspirée) d'un patient en état critique. Cette procédure invasive est indiquée chez des patients dont la commande ventilatoire au niveau du tronc cérébral est abolie (suite à une perte de conscience, après un arrêt cardiaque ou un traumatisme crânien sévère, par exemple). Elle peut aussi se révéler nécessaire quand les poumons ne sont plus capables d'assurer correctement leur fonction d'échangeur gazeux, lorsque la membrane alvéolocapillaire pulmonaire est lésée, par exemple, comme c'est le cas chez certains patients du Covid-19, et aurait pu l'être chez les astronautes de la station *Mir* lors de l'incendie de 1997. Cette procédure, déjà risquée en conditions normales, est d'autant plus complexe dans l'espace. Le soignant subit les effets néfastes de l'impesanteur, comme la difficulté à se stabiliser ou les perturbations de son système sensorimoteur et vestibulaire (oreille interne). Comment adapter le protocole à cet environnement ? Grâce aux campagnes de vols paraboliques du Cnes, notre équipe de recherche a étudié

en « condition spatiale » l'intubation trachéale à bord de l'Airbus A310 Zéro-G, exploité par Novespace. Cet avion-laboratoire plonge ses passagers dans un état d'impesanteur semblable à celui présent à bord de l'ISS grâce à un pilotage singulier plaçant l'avion en trajectoire parabolique. Chaque vol offre 30 paraboles aux scientifiques et chaque parabole présente 22 secondes d'impesanteur. Lors de ces vols, nous avons étudié sur un mannequin haute-fidélité des nouveaux dispositifs d'intubation vidéoassistés, préalablement validés en médecine terrestre. Ces « vidéolaryngoscopes » permettent un retour sur écran des cordes vocales, assurant un meilleur contrôle du geste malgré le flottement de l'opérateur. L'expérience a montré un gain de performance par rapport aux dispositifs d'intubation présents actuellement à bord de l'ISS, ce qui pourrait valider leur présence au sein de futures trousse médicale d'urgence spatiale. Cependant, même si nos données montrent que ces nouveaux outils facilitent l'intubation en impesanteur, de nombreuses difficultés persistent pour sécuriser l'ensemble de la prise en charge d'une urgence respiratoire à l'échelle

spatiale. Les complications associées à l'intubation sont potentiellement graves, voire mortelles, comme lorsque l'on ne détecte pas un mauvais positionnement de la sonde dans l'œsophage au lieu de la trachée. Cette procédure nécessite aussi le plus souvent une sédation du patient à l'aide de médicaments dangereux à manier en l'absence d'expertise ou de suivi adapté. Et même si l'intubation est réussie, il faut ensuite régler correctement le respirateur artificiel qui, en amont de la sonde, délivre les volumes et les pressions respiratoires adéquats au patient, ces réglages étant eux-mêmes source d'accidents. Effectuer ce geste dans une station spatiale regroupe tous les facteurs de risque d'échec et soulève donc des interrogations légitimes sur l'accès à cette technique en milieu isolé, sans mentionner les problématiques de réserve d'oxygène et de médicaments nécessaires au soutien de la fonction respiratoire. Le débat en médecine spatiale reste ouvert.

que des sutures, des interventions dentaires ou un sondage urinaire.

En complément, les astronautes bénéficient d'une surveillance et d'une assistance depuis le sol grâce aux *flight surgeons* (médecins affectés aux vols), spécialistes en médecine aérospatiale. Depuis les centres de contrôle terrestres, ils analysent en continu les paramètres physiologiques des astronautes et leur prodiguent une téléassistance en cas de besoin. Un suivi régulier médical et psychologique permet d'apporter des conseils de santé et de gérer des affections mineures à l'aide de la pharmacie de bord.

Un chiffre illustre la réussite et la robustesse des stratégies de contrôle du risque médical en orbite terrestre basse: aucune évacuation pour raison de santé n'a été nécessaire à bord de l'ISS depuis le début de son occupation en 2000! Cette donnée vient pour le moment contredire les projections statistiques, initialement plus pessimistes.

Ce succès ne doit pas masquer le fait que chaque ligne de défense (prévention, contre-mesures et autonomie) possède ses limites. Certains exemples de points de fragilité techniques et stratégiques concernant l'autonomie médicale à bord de l'ISS laissent entrevoir les immenses difficultés et dilemmes médicaux soulevés par la perspective de missions plus lointaines, comme un vol vers Mars.

Dans une station conçue pour six personnes, il est impossible d'espérer trouver un plateau technique de soins complets pour des questions de charge utile, de volume, de coût, de compétences et de ressources humaines. L'ISS n'est pas équipée pour du soin intensif lourd et prolongé. Il faut donc faire des compromis en ciblant l'offre de soin vers les pathologies à plus forte probabilité d'incidence. Ces pathologies sont soit conventionnelles survenant spontanément pendant le vol sans lien avec la mission (comme un abcès dentaire), soit circonstanciées, c'est-à-dire favorisées ou engendrées par l'exposition à l'une des nombreuses contraintes du milieu spatial. Cependant, en cas d'accident grave, les options de traitement seraient rapidement dépassées. La station ne possède ni produit sanguin labile (culots de sang, dans le cadre d'une transfusion par exemple) ni matériel chirurgical lourd pour réaliser une intervention digestive ou vasculaire urgente, ni le personnel nécessaire pour gérer le nombre élevé de tâches critiques imposées par la prise en charge d'un blessé grave. Parmi les pistes de recherche pour renforcer l'autonomie médicale en milieu spatial, la Nasa a par exemple testé dans l'ISS un générateur de sérum physiologique (nommé IVGEN). Ce soluté de première nécessité permet de préparer des médicaments et d'hydrater par voie intraveineuse des patients gravement malades.

Une autre difficulté concerne la séparation géographique entre l'équipage isolé dans l'espace et un expert médical au sol. Cette configuration rend plus complexe l'assistance médicale pour de multiples raisons. Des pertes de signal régulières interrompent souvent le lien audio et vidéo entre la Terre et l'ISS, gênant la transmission d'informations. En cas de situation médicale critique à bord, l'évaluation de la situation risquerait d'être confuse de part et d'autre, l'urgence étant source d'erreurs d'interprétation et de biais cognitifs, comme en témoigne le difficile exercice de régulation médicale au sein des Samu. La différence de langue maternelle entre intervenants entrave les échanges. Dans le cas d'un voyage vers Mars, cette option de coopé-



L'évacuation vers la Terre présente parfois davantage de risques pour le blessé



ration à distance serait fortement affectée, voire inutile: les communications radio seront soumises à une telle latence (parfois plus de vingt minutes dans chaque sens) qu'il sera impossible d'interagir en temps réel lors d'une urgence. Certaines équipes de recherche, dont la nôtre (avec le Centre européen de réalité virtuelle de Brest), travaillent ainsi sur des projets d'aide à la décision médicale et à la perception du risque (côté astronaute) en utilisant différentes technologies comme l'intelligence artificielle, les agents conversationnels (*chatbots*) et la réalité augmentée.

Mais revenons à bord de l'ISS. Pourrait-on simplement, en cas de symptôme menaçant, opter pour une évacuation médicale? Après tout, les capsules *Soyouz* ou *Crew Dragon*, arrimées à la station, permettent un retour en quelques heures sur Terre. Le temps maximal entre une décision d'évacuation et une admission en centre hospitalier est estimé à une trentaine d'heures. Ainsi, l'équipage à bord d'une station orbitale est plus proche d'un centre hospitalier moderne que certains navigateurs ou les scientifiques en hivernage en Antarctique. Pour ces derniers, l'évacuation prend jusqu'à plusieurs jours, voire se