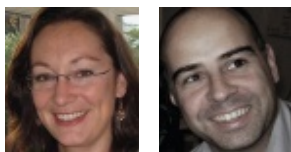


■ LES AUTEURS



Nathalie PATTYN est professeur de psychologie biologique à la Vrije Universiteit Brussel et à l'École royale militaire de Belgique, au sein de l'unité de recherche VIPER (*Vital signs and PERFORMANCE monitoring*).

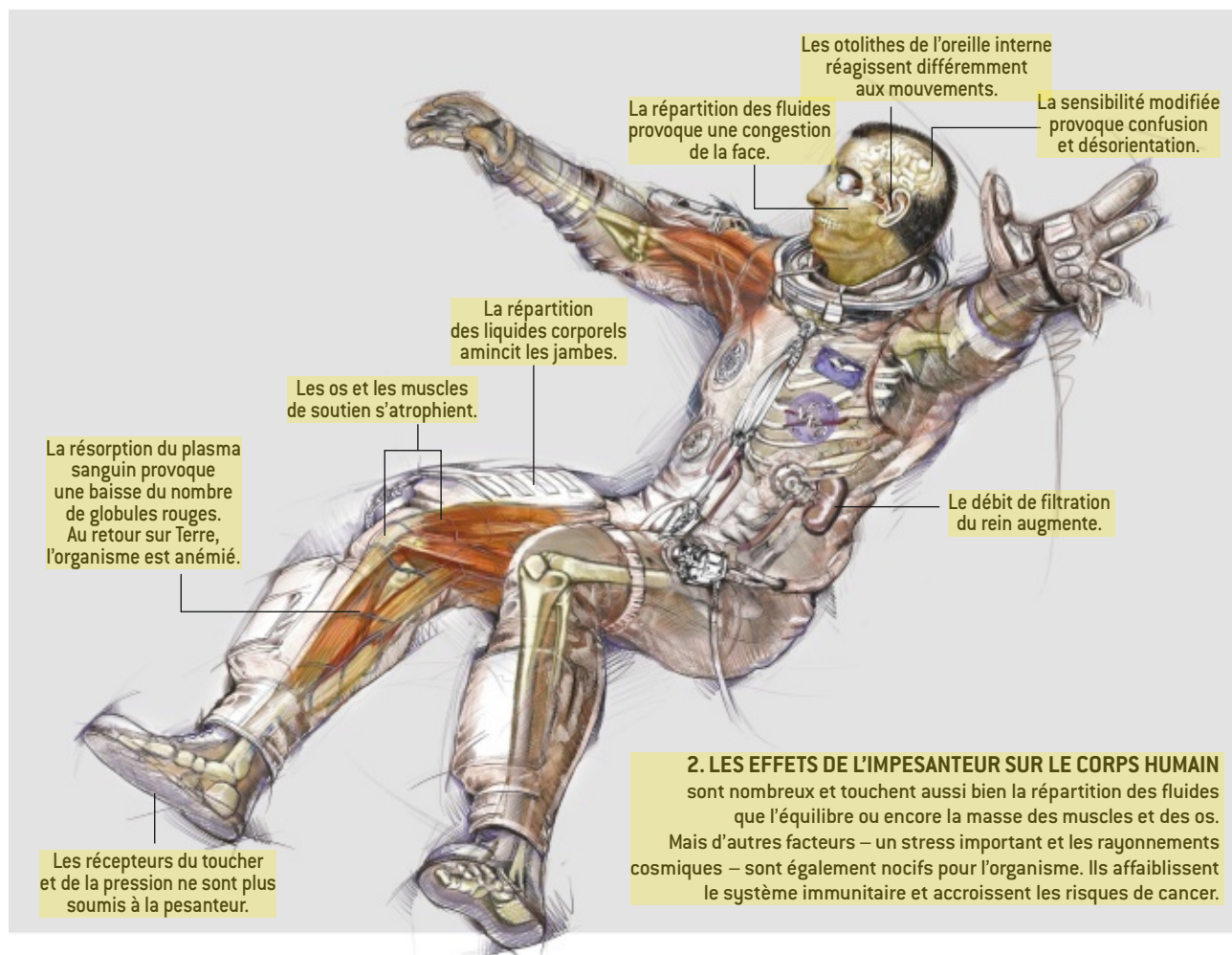
Pierre-François MIGOTTE est chercheur également dans l'unité de recherche VIPER.

chute libre, à la même vitesse que la station. Par conséquent, les parois du vaisseau n'exercent plus l'équivalent de la force de réaction du sol sur les pieds, qui donnerait la sensation du poids. Ainsi, les astronautes flottent dans l'habitacle et expérimentent ce qu'on nomme l'impesanteur.

La conséquence physiologique directe est que les différences de pression hydrostatique existant, sur Terre, au sein de notre organisme et qui s'appliquent sur les fluides et les organes, disparaissent. Par exemple, la pression est, au sol, plus forte dans les pieds que dans la tête, différence qui est abolie dans l'état d'impesanteur. Ainsi, les mécanismes physiologiques qui luttent habituellement contre la gravité perdent leur utilité. Tous les capteurs de poids et de pression sont perturbés, puisque l'information principale qui structure leur organisation a disparu. Les conséquences de l'impesanteur touchent surtout le système cardio-vasculaire, la neurophysiologie sensorimotrice et le fonctionnement osseux et musculaire.

Sur Terre, pour lutter contre les variations de pression, une série de réflexes mis en place depuis notre naissance maintiennent une tension artérielle normale et une perfusion cérébrale adéquate lors des changements (éventuellement brusques) de position. Ainsi, quand on se lève, le rythme cardiaque et la tension artérielle augmentent pour compenser l'accroissement du gradient de pression entre la tête et les pieds. Les personnes qui souffrent d'un défaut de ces réflexes sont sujettes aux étourdissements ou s'évanouissent faute d'un apport suffisant de sang au cerveau.

Dans l'espace, après quelques minutes d'impesanteur, ces réflexes devenus inutiles entraînent un afflux de sang en direction de la tête et du thorax. On dit même de façon imagée que les astronautes ont « la tête bouffie et des jambes de poulets ». Les fluides se répartissent différemment ; les jambes, par exemple, perdent chacune un litre de fluide. Le volume d'éjection cardiaque augmente et le rythme cardiaque diminue. Après quelques jours, les astronautes ont perdu environ 0,5 litre de plasma san-



guin, qui s'échappe des capillaires et se retrouve dans la lymphe interstitielle. Ces modifications du volume et de la concentration plasmatiques sont responsables d'autres adaptations métaboliques. Les reins filtrent plus rapidement. La régulation des hormones, des globules rouges et des sels minéraux dans le sang est perturbée.

Une conséquence importante de l'impressionnante capacité d'adaptation de la physiologie à l'état d'impesanteur est que les astronautes perdent leur habitude de la gravité. On dit qu'ils souffrent d'intolérance orthostatique. Cet effet pose problème lors du retour sur Terre et il pourrait être dangereux, voire critique, pour une mission sur Mars. Après un long séjour dans l'espace, lorsque les astronautes doivent à nouveau marcher, ils peuvent être sujets à des étourdissements et tomber ou perdre l'équilibre.

Perte de référence en impesanteur

L'équilibre est au cœur des modifications neurophysiologiques liées à l'impesanteur. La perception du monde qui nous entoure et la façon de nous mouvoir en trois dimensions sont liées à l'organisation de notre champ de perception et d'action, organisation déterminée par la gravité terrestre. Le corps humain possède de nombreux capteurs adaptés à la pesanteur, dans l'organe vestibulaire de l'oreille interne – l'organe de l'équilibre –, dans les muscles et les articulations, qui nous renseignent sur la position relative des différentes parties du corps.

L'appareil vestibulaire détecte les accélérations grâce à deux types de capteurs : les canaux semi-circulaires (trois tubes remplis de liquide et tapissés de cellules ciliées) sensibles à l'accélération angulaire, donc aux rotations de la tête, et les otolithes (des cristaux de carbonate de calcium), sensibles à l'accélération linéaire, donc à la pesanteur. Tous ces signaux dépendent de l'intensité et la direction de la gravité terrestre. Or, en impesanteur, il n'y a plus d'accélération de référence pour l'organisme, qui est alors comme une boussole en l'absence de champ magnétique. L'incohérence entre le mouvement perçu par les yeux et l'absence de déplacement enregistrée par l'oreille interne peut causer le mal de l'espace, suivant le même principe que la banale cinétose, ou mal des transports. Ce mal de

Concordia : vivre l'isolement en Antarctique



Nathalie Pattyn

La station franco-italienne Concordia est située sur le plateau antarctique à 3 200 mètres d'altitude. Depuis 2005, ce centre de recherche accueille des équipes qui y passent l'hiver austral de mars à novembre en isolement total, sans possibilité d'aide extérieure en raison des conditions extrêmes de température, de l'ordre de -70°C . Cette situation est idéale pour étudier l'impact de l'isolement tel qu'y seront confrontés des astronautes partant en mission vers Mars.

Nathalie Pattyn coordonne la campagne de recherches en sciences de la vie de l'ESA depuis 2010. En effet, différents projets scientifiques étudient les conséquences physiologiques et psychologiques d'une vie en autarcie dans un groupe restreint d'une quinzaine de personnes. Quatre catégories d'éléments stressants, très similaires à ceux décrits pour les missions spatiales, ont été identifiées : l'environnement hostile – les températures extrêmes, la nuit polaire

de trois mois, le manque de repères circadiens et la dépendance de la survie à la technique –, l'habitat (voir l'encadré page 63) ; la mission – alternance de périodes d'activité intense pour obtenir des données scientifiques ou résoudre des difficultés techniques et d'autres plus monotones, sources d'ennui et de démotivation –, enfin, la situation sociale du petit groupe vivant en autarcie, ce qui crée nécessairement des tensions, voire des conflits, qu'il importe de gérer au mieux.

l'espace, qui affecte une grande proportion d'astronautes, est de durée variable, mais heureusement suivi d'une adaptation du cerveau.

D'un point de vue neurophysiologique, toute la coordination sensorimotrice est perturbée par la modification de la gravité. En effet, sur Terre, nous anticipons le mouvement des objets qui nous entourent suivant un calcul inconscient de leurs vitesses et leurs accélérations en fonction de la gravité. Il en est de même pour les mouvements que nous devons effectuer. Avec la perte de cette grille de référence sensorielle que constitue la gravité, l'intégration des informations visuelles, sensorielles et motrices est dérégulée, de même que la manière dont nous déclenchons nos mouvements.

Par exemple, lorsque les astronautes s'agrippent aux parois et tirent dans un sens, ils se sentent immobiles et ont l'impres-

sion que c'est le vaisseau qui se déplace. De nombreux astronautes ont aussi la sensation de voyager la tête en bas.

Le mouvement est au cœur du troisième grand problème lié à l'impesanteur : l'impact sur la fonction musculaire et le métabolisme osseux. En effet, en l'absence de gravité, les mouvements consomment moins d'énergie et les sollicitations mécaniques des muscles, tendons, ligaments et leur retentissement sur les os sont moindres. Sans contre-mesures, la perte de masse musculaire et osseuse est rapide et importante. La disparition de la gravité n'est pas le seul facteur : s'y ajoutent les dommages tissulaires causés par les rayonnements cosmiques et les modifications du métabolisme osseux qui accélèrent la résorption, c'est-à-dire la dissolution de l'os. Ce fut l'un des premiers problèmes observés en liaison avec les vols spatiaux et le retour sur Terre.

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

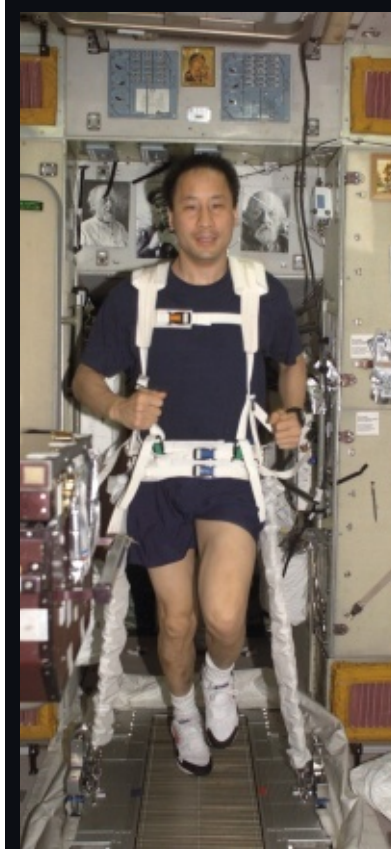
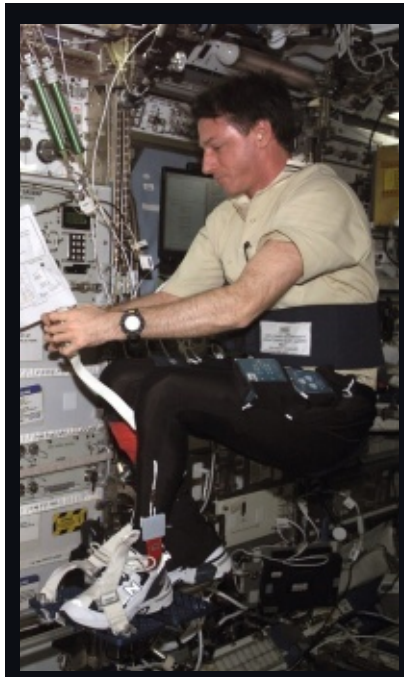
Pour réduire les risques et désagréments d'un séjour dans l'espace, les agences spatiales attachent une grande importance au développement d'un programme de contre-mesures efficaces. En ce qui concerne les conséquences négatives de l'impesanteur, l'intervention actuelle au sein de la Station spatiale 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,