

d'entre eux s'atrophient rapidement. Simultanément, la nature des muscles évolue ; certaines fibres à contraction lente, nécessaires face à la gravité, se transforment en fibres à contraction rapide. Les spationautes ne sont pas gênés tant que les travaux restent légers. Toutefois, de nombreuses expérimentations sont en cours sur l'atrophie des muscles requis pour des travaux pénibles au cours des sorties dans l'espace, et leur préservation pour un retour en bonne forme sur terre.

Le métabolisme osseux évolue également. L'os, l'un des matériaux biologiques le plus résistants connus, est un tissu dynamique : certaines cellules, les ostéoblastes, produisent l'os, tandis que les ostéoclastes le détruisent. Les deux types cellulaires, sensibles à différentes hormones et vitamines présentes dans le sang et aux contraintes mécaniques qui s'exercent sur l'os, assurent normalement l'équilibre des os.

Les matières organiques confèrent à l'os résistance et stabilité, tandis que les matières inorganiques le rigidifient. Le squelette est une réserve de calcium pour l'organisme : il contient 99 pour cent du calcium présent, et sa mise en solution, puis sa répartition dans l'organisme, maintiennent des concentrations stables en calcium, nécessaires au bon fonctionnement des cellules.

Des équipes russes et américaines ont étudié les variations de masses des os dans l'espace. Les pertes concernent surtout les vertèbres inférieures, les talons, les hanches et la partie supérieure des fémurs. Elles sont d'environ un pour cent par mois pendant toute la durée des missions. Le calcium ainsi libéré dans le corps cristallise et provoque parfois des lithiases rénales et une calcification des tissus mous.

De retour sur la Terre, le squelette retrouve son poids initial au bout de quelques mois, mais les médecins ne

savent pas encore si l'os se reconstitue correctement. Cette question est importante, car si la perte osseuse était irréversible, les anciens spationautes auraient toujours un risque de fractures élevé. L'étude d'animaux envoyés dans l'espace indique également que la production d'os diminue pendant le temps du vol.



3. L'ALITEMENT produit des effets physiologiques analogues à ceux de l'apesanteur. Au Centre de recherche Ames de la NASA, des volontaires restent couchés, sur des lits inclinés de six degrés, la tête plus basse que les pieds. Après quelque temps dans cette position, les liquides de l'organisme s'accumulent dans la poitrine et dans la tête, les muscles s'atrophient et les os s'affaiblissent. Les médecins testent divers exercices, régimes et traitements médicamenteux contre ces perturbations physiologiques.



4. JOHN GLENN, spationaute devenu sénateur de l'Ohio, sort d'une maquette d'entraînement de la navette américaine, en 1989. Il voyagera de nouveau dans l'espace à bord de la navette *Discovery* à la fin du mois d'octobre. Le vol spatial exerce sur le corps humain des effets comparables à ceux du vieillissement. J. Glenn, âgé de 77 ans, sera la première personne qui subira les effets des deux facteurs en même temps.

La physiologie osseuse dans l'espace est mal connue parce que, sur la Terre, elle l'est aussi. On ne sait notamment pas encore bien lutter contre l'ostéoporose des femmes après la ménopause. De nombreux facteurs (activité, nutrition, vitamines, hormones) interviennent dans cette perte osseuse, mais on en ignore toujours l'action et les interactions. Cette ignorance retarde la mise au point d'une prévention efficace de l'ostéoporose des femmes ménopausées comme des spationautes. Jusqu'ici, divers types d'exercices ont été testés, mais sans réel succès.

Respiration et collectivité

Les pneumologues ont également bénéficié des études du poumon dans l'espace. Sur la Terre, les débits d'air et de sang diffèrent dans les parties inférieures et supérieures du poumon. Ces différences sont-elles dues à la gravité ou à la nature même du poumon ? John West et ses collègues de l'Université de San Diego, et Manuel Paiva, de l'Université libre de Bruxelles, ont montré que la gravité n'est pas en cause : même en apesanteur, les différentes parties du poumon sont parcourues par des débits différents d'air et de sang.

L'apesanteur n'est pas responsable de toutes les modifications de l'organisme qui apparaissent pendant les vols spatiaux. Ainsi, l'immunodéficience dont souffrent les spationautes est probablement due aux divers stress provoqués par le vol. La quantité et la qualité du sommeil sont également modifiées, parce que les éclairages et les horaires de travail perturbent les rythmes naturels du corps. Un regard par le hublot juste avant le coucher (la beauté du spectacle est une tentation irrésistible) stimule la rétine au point de provoquer une réaction physiologique

qui perturbe le sommeil. Les nuits sont raccourcies et la fatigue s'accumule.

Les spationautes vivent isolés, dans un espace réduit, sans sortie possible. Durant toute leur mission, ils côtoient un groupe restreint de compagnons qui ont souvent une culture différente de la leur. Cet isolement est parfois cause d'anxiété, d'insomnie, de dépression ou de tension entre les divers membres de l'équipage. Le stress peut perturber les spationautes autant que l'apesanteur, voire davantage. Quelle est la responsabilité respective du stress et de l'apesanteur dans les modifications physiologiques observées par les médecins ? La question est à l'étude.

Enfin, le vol spatial expose les spationautes à des rayonnements ionisants. En orbite terrestre basse et modérément inclinée, un spationaute reçoit dix fois plus de rayonnements qu'à la surface de la Terre. Un séjour d'un an sur la Lune exposerait à une dose encore sept fois supérieure. Les expulsions soudaines de particules par le Soleil, comme celles d'août 1972, libèrent en moins d'une journée une dose jusqu'à 1 000 fois supérieure à la dose annuelle reçue sur la Terre. De tels événements sont heureusement rares, et les véhicules spatiaux sont équipés de chambres protégées contre les rayonnements. Les spationautes s'y réfugient en cas d'alerte.

Le risque de cancer qui découle de l'irradiation par les rayons cosmiques est difficilement quantifiable. Les radiologistes estiment néanmoins qu'avec des protections appropriées et des médications préventives les risques peuvent être ramenés dans des limites acceptables.

Le retour sur la Terre

Lorsque les spationautes retrouvent la Terre et sa gravité, leur corps s'adapte et subit de nouveaux changements. L'organisme retrouve ses capacités initiales après un certain temps : nous savons aujourd'hui que la plupart des systèmes du corps humain s'adaptent de façon réversible, du moins pour les intervalles de temps pour lesquels nous disposons de données.

Une fois au sol, mais aussi pendant la descente, les spationautes ressentent fortement la gravité. C'est un choc : au début, ils ont le sentiment d'être écrasés par trois fois leur poids.



5. CHAQUE JOUR, les spationautes font plusieurs heures d'exercices physiques. On voit ici Terence Henricks s'entraînant à bord de la navette spatiale Atlantis, en 1991. Mario Runco, équipé de capteurs médicaux, attend son tour. Même si ces exercices ralentissent quelquefois l'atrophie des muscles qui, sur la Terre, assurent la station debout, leur efficacité n'est pas encore clairement démontrée.

Lorsqu'ils bougent la tête, les objets environnants semblent être en mouvement, et ils se maintiennent debout avec difficulté, que leurs yeux soient ouverts ou non.

Rien n'indique qu'une personne ayant vécu et travaillé dans l'espace pendant des périodes prolongées ne puisse ensuite retrouver une vie normale sur la Terre : les futurs occupants de la Station spatiale internationale et ceux qui partiront pour des missions interplanétaires peuvent être tranquilles. La Station spatiale internationale, dont l'assemblage commencera en 1999, permettra la poursuite des études de médecine spatiale. Une fois achevée, dans cinq ans, la station disposera d'un espace de travail de près de 1 300 mètres cubes (cinq fois plus que les stations Mir ou Skylab) et embarquera des équipements d'étude de la physiologie humaine. L'Institut américain de recherches biomédicales spatiales

est chargé d'étudier les risques des vols prolongés dans l'espace.

Nombre des changements qui se produisent chez des spationautes pendant les vols dans l'espace ou à leur retour ressemblent à des modifications observées chez des personnes malades sur la Terre. Par exemple, après l'atterrissage, la plupart des spationautes ne supportent plus de rester dix minutes en position debout et immobile ; ils se sentent mal et sont proches de l'évanouissement. Certaines personnes âgées et les malades alités pendant une durée prolongée ressentent ce malaise orthostatique. Comme l'alitement est également accompagné d'une perte musculaire et osseuse, on l'utilise pour simuler les effets du vol spatial lors de l'entraînement des spationautes.

D'autres modifications dues au vieillissement ressemblent à celles qui sont produites par un séjour dans l'espace. Nous avons vu que la perte osseuse au cours d'un vol est analogue à l'ostéoporose. L'immunodéficience, les troubles du sommeil et les troubles de coordination motrice atteignent aussi bien les spationautes que les personnes âgées. Les causes ne sont peut-être pas identiques, mais les similarités sont si frappantes que les centres de recherches spatiales collaborent aujourd'hui avec les laboratoires d'étude du vieillissement. En octobre 1999, ils étudieront les réactions physiologiques de John Glenn, qui fut l'un des premiers spationautes américains, qui repartira pour l'espace.

Ronald WHITE est codirecteur de l'Institut américain de recherches biomédicales et spatiales.

Proceedings of a Conference on Correlations of Aging and Space Effects on Biosystems, sous la direction de R.L. Sprott et C.A. Combs, in *Experimental Gerontology*, vol. 26, n° 2-3, pp. 121-309, 1991.

James R. LACKNER, *Orientation and Movement in Unusual Force Environments*, in *Psychological Science*, vol. 4, n° 3, pp. 134-142, mai 1993.

A.E. NICOGLOSSIAN, C.L. HUNTOON et S.L. POOL, *Space Physiology and Medicine*, troisième édition, Lea & Febiger, 1993.

Applied Physiology in Space, numéro spécial du *Journal of Applied Physiology*, vol. 81, n° 1, pp. 3-207, juillet 1996.
