

veux met en place avec difficulté, au cours des premières années de la vie, les puissants mécanismes réflexes qui permettent à l'individu de se tenir debout, en luttant contre la gravité, et les mécanismes perceptifs qui l'informent sur la posture de son corps par rapport à la verticale.

Le cerveau s'adapte à la gravité

Que se passe-t-il lorsque cette référence fondamentale est supprimée ? Les vols spatiaux habités, qui placent le corps en microgravité, où se tenir ou savoir que l'on est debout perd tout sens, révèlent que le cerveau apprend à reconnaître un corps devenu non pesant et désorienté, et reconstruit, en tenant compte des nouvelles propriétés biomécaniques du corps, la quasi-totalité des commandes nerveuses motrices. Il réaffecte aussi les signaux sensoriels à la gestion des nouvelles habiletés motrices acquises par le corps.

Avec R. Roll et J.-C. Gilhodes, et avec nos collègues russes Konstantin Popov et Victor Gurfinkel, du Laboratoire des contrôles moteurs de Moscou, nous avons étudié les modifications des sensations posturales du corps et des réflexes d'équilibration, au cours de séjour en microgravité de spationautes français (du Centre national d'études spatiales) et russes dans la station orbitale *MIR*. Au sol, on crée, par vibration tendineuse des muscles de la cheville d'un sujet debout, des illusions d'inclinaison du corps ou des ajustements posturaux orientés vers l'avant ou vers l'arrière. Or, après seulement quelques jours passés en microgravité, les illusions de mouvement du corps et la régulation de la posture debout sont considérablement atténuées, voire supprimées.

En revanche, les astronautes rapportent qu'ils apprennent à utiliser leurs pieds pour propulser leur corps d'un point à l'autre de la station orbitale ou pour le stabiliser lorsqu'ils ont des mani-

pulations précises à effectuer. Ces nouveaux apprentissages moteurs donnent une nouvelle signification aux messages en provenance des muscles de la cheville : après environ une semaine en microgravité, la vibration des deux muscles jambiers antérieurs, qui, sur Terre, donne au sujet l'illusion que son corps s'incline vers l'arrière, crée une illusion de déplacement de l'ensemble du corps suivant son axe longitudinal.

Pour des séjours brefs ou de moyenne durée dans l'espace, le nouveau modèle interne du corps, construit sur la base des actions apprises en microgravité, coexiste avec le modèle antérieur adapté à la gravité. En restituant artificiellement en orbite, à l'aide de puissants tendeurs élastiques, des informations de résistance à la gravité sous la plante des pieds et dans les muscles des jambes, l'illusion qui prévalait sur Terre réapparaît, ainsi que les réponses motrices qui régulaient la posture avant le vol.

Ces expériences sont aussi l'occasion de vérifier que la connaissance intime que nous avons de notre corps dépend de notre environnement. Lorsqu'on les interroge, au retour d'un séjour de plusieurs semaines dans la station *MIR*, la plupart des spationautes déclarent préférer leur corps pesant et orienté dans le champ de gravité terrestre à celui dépourvu de poids et libéré des contraintes de la pesanteur. L'expression de cette préférence ne traduirait-elle pas une certaine expérience de dissociation passagère entre le corps et la représentation que nous nous en faisons, le résultat de l'action étant différent de celui que nous attendons, comme cela se produit lors d'atteintes neurologiques ? Privé des références fondamentales grâce auxquelles il se reconnaît en permanence, le corps renvoie de lui-même une image incertaine qui conduit momentanément le sujet à douter de son appartenance à ce même corps. Comment habiter un corps imprévisible ? Cette « incertitude corporelle » disparaît toutefois lors des séjours assez longs et le corps apprend à être et à se mouvoir dans ce nouvel environnement et, ce faisant, permet au spationaute de s'y « réincarner » pleinement.

Entretenir l'illusion, à défaut de mouvement

Sur Terre même, les ensembles neuro-
naux de l'écorce cérébrale se modifient en permanence au cours de nos

Le contrôle moteur de la sensibilité des récepteurs musculaires

Les fibres musculaires intrafusales, qui portent les terminaisons nerveuses sensibles à la longueur et à l'allongement des muscles, reçoivent aussi sur leurs extrémités contractiles une innervation motrice. Certains axones provenant de petits neurones moteurs (motoneurones gamma) se terminent exclusivement sur les extrémités des fibres intrafusales : c'est l'innervation fusimotrice gamma. D'autres, provenant de motoneurones plus grands, innervent à la fois les fibres musculaires intrafusales et les fibres musculaires squelettiques : c'est l'innervation squeletto-fusimotrice bêta, découverte au laboratoire d'Yves Laporte, à Toulouse, dans les années 1960.

La stimulation de ces motoneurones, gamma ou bêta, entraîne une contraction des extrémités des fibres intrafusales. Celle-ci active les terminaisons sensorielles du fuseau neuromusculaire et exacerbe leurs réponses à leur stimulus habituel. La stimulation des motoneurones bêta entraîne aussi la contraction des fibres musculaires extrafusales, ce qui a pour conséquence d'adapter automatiquement la sensibilité du capteur sensoriel à la nouvelle longueur du muscle. On distingue en outre des motoneurones gamma et bêta statiques et dynamiques, selon que leur activation sensibilise les terminaisons nerveuses sensibles à la

détection préférentielle des longueurs ou des allongements musculaires.

De nombreux travaux ont par ailleurs montré que les neurones fusimoteurs et squeletto-fusimoteurs subissent des contrôles très divers d'origine sensorielle ou cérébrale. Avec Edith Ribot et Jean-Pierre Vedel, nous avons directement enregistré l'activité de motoneurones gamma chez l'homme : elle est quasi permanente en condition de repos, et ces motoneurones sont très sensibles à des événements de type émotionnel, qu'ils proviennent du sujet lui-même ou de son environnement, telle l'occurrence d'un bruit inopiné.

Ce résultat accrédite l'idée que nos états mentaux ont des conséquences sur la disponibilité de nos muscles vis-à-vis des commandes intentionnelles. Il constitue, en outre, le support neurobiologique d'un ensemble d'observations empiriques selon lesquelles nos postures et nos mouvements sont le reflet de nos états mentaux. Ces données renforcent enfin la théorie des « marqueurs somatiques », proposée par la psychophysiologie et réactualisée récemment sur la base d'observations neuropsychologiques par Hanna et Antonio Damasio, selon laquelle le fonctionnement de la plupart de nos organes, et notamment de ceux constituant notre système moteur, porterait l'empreinte directe de nos émotions.