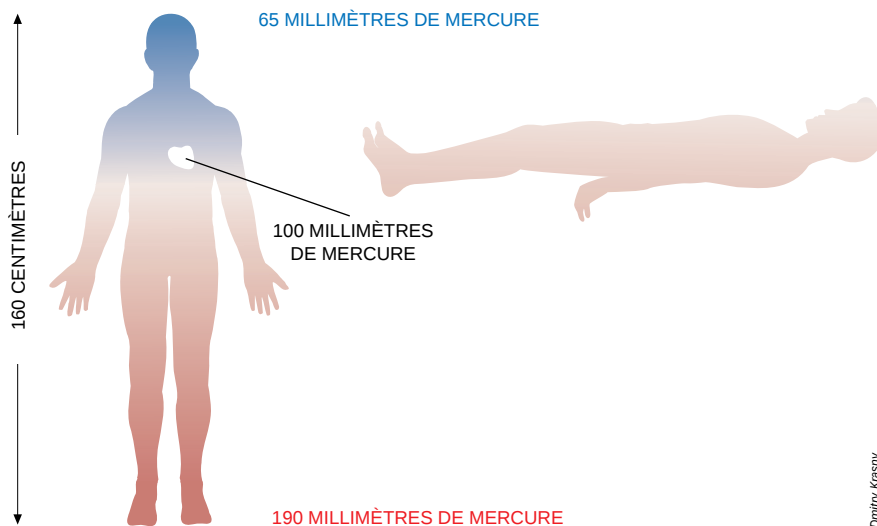




2. LA PRESSION DU SANG dans les vaisseaux sanguins varie selon la position. Chez une personne de taille moyenne, debout, elle atteint, dans les parties inférieures du corps, jusqu'à deux fois la pression mesurée au cœur ; elle est inférieure au-dessus du cœur. Les liquides descendent vers le bas du corps, et le débit sanguin diminue. En position allongée (ou en apesanteur), les pressions s'équilibrent dans l'ensemble de l'organisme et les fluides se répartissent également dans l'ensemble du corps.

visuelle et des sensations d'auto-inversion, comme l'impression que le corps ou le véhicule spatial change subitement d'orientation. En 1961, durant son vol spatial d'une journée seulement, le spationaute Gherman Titov a eu la vive sensation d'un voyage la tête en bas. L'année dernière, l'Américain Byron Lichtenberg a eu la même sensation lors de l'arrêt des moteurs principaux : il a aussitôt eu l'impression que son corps avait basculé de 180 degrés. De telles illusions réapparaissent quelquefois, même après un certain temps passé dans l'espace.

Contrairement aux prédictions de H. Haber et de son collègue Otto Gauer en 1950, les spationautes ne ressentent pas les effets d'une chute libre, bien qu'un vol orbital corresponde à une telle chute (le vaisseau spatial tombe vers la Terre sans s'en rapprocher, parce qu'il a une vitesse perpendiculaire à la direction de la gravité). Des signaux visuels, la perception d'un courant d'air et des informations perçues par les récepteurs de la gravité sont probablement nécessaires à la perception d'une chute.

Chez plus de la moitié des spationautes, l'ensemble des modifications sensorielles provoque le mal de l'espace, caractérisé par des maux de tête, une déconcentration, une perte d'appétit, des nausées et des vomissements. Le mal de l'espace dure rarement plus de trois jours, mais des spationautes ont fait état d'une sensation équivalente à la fin de vols prolongés.

Les physiologistes attribuaient le mal de l'espace à une activité inhabituelle du système vestibulaire, qui déroutait le cerveau accoutumé à un certain type de signaux. Cette explication était simpliste. Le mal de l'espace résulte notamment de la modification de l'ensemble des informations motrices requises pour le contrôle de la tête. On peut déclencher un mal similaire en plaçant un individu dans un environnement virtuel, calculé par ordinateur, où les forces et les stimuli sont différents de ceux d'un mouvement réel.

Progressivement, le cerveau s'adapte au nouvel environnement et, pour certains spationautes, le bas devient l'endroit où se trouvent les pieds. Des adaptations des récepteurs et des cellules nerveuses favorisent probablement cette accoutumance. Des modifications similaires se produisent sur la Terre lors de notre croissance et pendant les périodes de fortes variations pondérales. Les mécanismes de contrôle de l'équilibre restent toutefois mal connus. Après un vol spatial, la plupart des spationautes, par ailleurs en bonne santé, présentent des troubles temporaires de l'équilibre. L'étude de ces cas aidera ceux qui présentent naturellement les mêmes difficultés sur la Terre. Bernard Cohen, de la Faculté de médecine du Mont-Sinaï, à New York, et Gilles Clément, directeur de recherche au Centre de recherche Cerveau et Cognition, à Toulouse, ont entrepris une telle étude lors

de la mission *Neurolab* de la navette américaine, au printemps 1998. Sur la base de leurs résultats, Barry Peterson et ses collègues de l'Université du Nord-Ouest, de la NASA et de l'Institut américain de la santé (NIH) ont mis au point le premier modèle informatique des postures du corps humain et du contrôle de l'équilibre.

Le rhume de l'espace

L'absence de gravité perturbe également la répartition des liquides dans le corps humain. Au bout de quelques minutes, dans un environnement sans gravité, les veines du cou d'un spationaute enflent et son visage se boursouffle. La montée de sang vers la poitrine et vers la tête provoque une congestion des poumons, des sinus et du nez ; le spationaute présente les mêmes symptômes qu'un rhume terrestre. Cette gêne persiste durant tout le vol, sauf quand la pression sanguine varie, comme au cours d'efforts physiques intenses. Le goût et l'odorat sont également affaiblis ; les spationautes ont besoin de plats épicés. Au temps des premiers vols spatiaux, les médecins craignaient que la congestion des poumons ait les mêmes conséquences que les œdèmes pulmonaires chez les cardiaques ; heureusement, cette inquiétude semble infondée.

Toutes ces modifications surviennent parce que l'eau constitue environ 60 pour cent de la masse du corps. Elle se répartit dans les cellules (liquide intracellulaire), dans les artères et les veines (plasma sanguin), et dans les espaces entre les vaisseaux et les cellules (lymphe interstitielle). Chez un individu debout, sur la Terre, cette eau pèse sur l'ensemble de l'organisme. Dans le système vasculaire, composé de tous les vaisseaux sanguins connectés, la pression augmente de la tête aux pieds, tout comme la pression de l'eau augmente avec la profondeur dans l'océan. Chez une personne debout et immobile, l'effet de la pression hydrostatique est considérable ; les soldats au garde-à-vous perdent parfois connaissance. La pression varie en effet selon l'endroit du corps : équivalente à 100 millimètres de mercure au niveau du cœur, elle diminue dans les vaisseaux situés au-dessus et augmente vers le bas. Dans les jambes, les pressions artérielle et veineuse atteignent jusqu'à 190 millimètres de mercure (voir la figure 2).

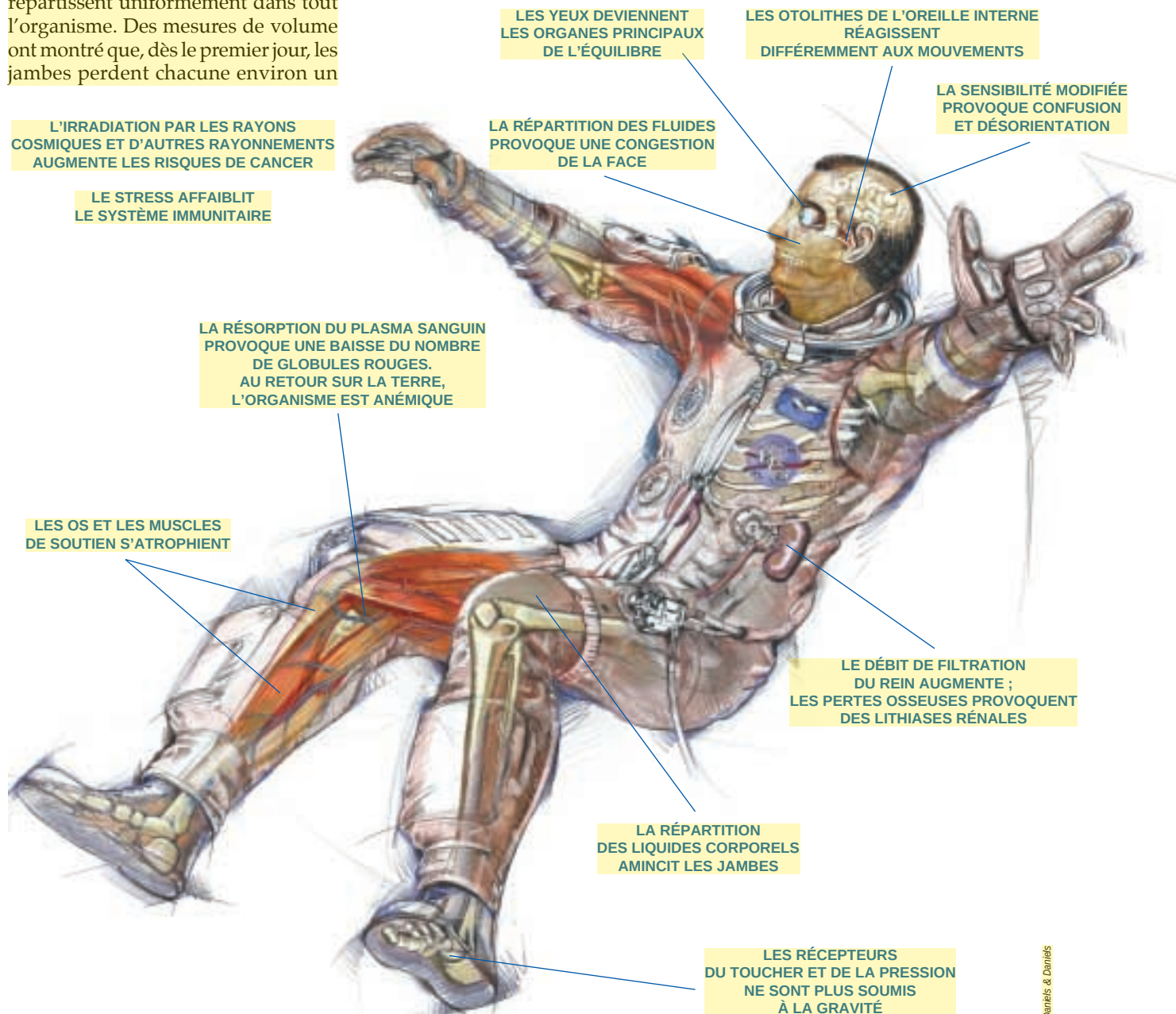
L'effet hydrostatique gêne peu l'écoulement du sang dans les tissus et dans les organes, parce que la pression veineuse est égale à la pression artérielle. En revanche, il modifie la répartition des liquides dans l'organisme en augmentant le passage du plasma des capillaires vers l'espace interstitiel. Lorsqu'on se lève, le liquide afflue dans les parties inférieures du corps, le retour du sang vers le cœur diminue. Les veines en permanence dilatées par un excès de liquide forment des varices. Après de longues périodes en position assise (par exemple, après un vol aérien de longue durée), les pieds enflent.

Dans l'espace, en l'absence de pression hydrostatique, les liquides se répartissent uniformément dans tout l'organisme. Des mesures de volume ont montré que, dès le premier jour, les jambes perdent chacune environ un

litre de liquide (soit près de dix pour cent de leur volume) ; elles conservent ce volume réduit pendant toute la durée du séjour dans l'espace (les liquides remontent vers la tête alors que les spationautes sont encore sur la rampe de lancement, car ils restent pendant plusieurs heures sur des couchettes avec les pieds surélevés). L'organisme s'adapte en répartissant l'eau dans les divers compartiments. Environ 20 pour cent du plasma sort des capillaires sanguins et rejoint la lymphe interstitielle.

Ces déplacements de liquides déclenchent une série de réactions rénales, hormonales et mécaniques qui règlent les concentrations en eau et en sels minéraux. Par exemple, la vitesse de filtration rénale augmente d'environ 20 pour cent pendant toute la première semaine passée dans l'espace. En outre, les spationautes présentent une forme spéciale d'anémie quand ils reviennent sur la Terre, même après des vols courts. Au Collège de médecine Baylor, Clarence Alfrey a montré que la perte de plasma et la

Les effets d'un vol spatial sur le corps humain



Daniels & Daniels

réduction du volume vasculaire qui s'ensuit provoquent une surabondance de globules rouges. Le corps, en réaction, arrête la production de globules rouges et détruit ceux qui sont en excès.

Les muscles et les os sont parfois gravement perturbés par les effets de l'apesanteur : quelle que soit la durée du séjour dans l'espace, les spationautes reviennent toujours avec une masse

musculaire et une masse osseuse réduites. Pourquoi cet effet ? Parce que les forces qui s'exercent sur les éléments structuraux de l'organisme diminuent considérablement. L'absence

Orientation spatiale en apesanteur

La gravité est omniprésente sur la Terre. Elle est une accélération dirigée vers le centre de la Terre qui détermine notre posture, notre équilibre et la plupart de nos mouvements. On estime qu'environ 60 pour cent des muscles de notre corps s'opposent à la gravité. Leur commande nécessite que le système nerveux connaisse à tout moment l'inclinaison du corps par rapport à la gravité.

L'appareil vestibulaire de l'oreille interne contient des récepteurs sensoriels, les otolithes, sensibles aux accélérations linéaires, telles que la gravité. Les otolithes sont de petits cristaux de carbonate de calcium qui reposent sur des cellules sensorielles reliées au cerveau. Quand la tête est inclinée par rapport à l'axe vertical, le glissement de ces cristaux stimule les cellules sensorielles, et le système nerveux central en déduit l'angle d'inclinaison de la tête.



Dans le Spacelab de la navette spatiale, un spationaute assis au bout du bras d'une centrifugeuse tourne à 42 tours par minute. La force centrifuge, équivalente à 1 g, qui le plaque sur le côté gauche, est perçue comme une gravité artificielle et lui donne l'illusion d'être couché sur le côté. Devant son visage, un écran d'ordinateur et des caméras vidéo enregistrent les mouvements de ses yeux.

Cependant, les otolithes se déplacent également sur les cellules sensorielles lorsque nous effectuons un mouvement de translation horizontal ou vertical. Dans ce cas, les otolithes glissent, en raison de leur inertie, dans la direction opposée à celle du mouvement. L'information délivrée au cerveau par les cellules sensorielles est donc ambiguë : le déplacement des otolithes est dû soit à une inclinaison, soit à une translation.

Comment, dans l'obscurité, sans références visuelles, le cerveau distingue-t-il une inclinaison de la tête d'un mouvement de translation ? En apesanteur, seules les translations de la tête mettent les otolithes en mouvement. Si l'on communique une accélération linéaire à la tête des spationautes, cette accélération sera-t-elle interprétée par le cerveau comme la conséquence d'une inclinaison ou d'une translation de la tête ?

Cette question était à l'origine des expériences effectuées à bord de la navette spatiale, lors de la mission NEUROLAB STS-90, en avril 1998. L'accélération linéaire était produite par une centrifugeuse. Ce système, mis au point par l'Agence spatiale européenne et par la Société *Aérospatiale*, comprend un siège situé au bout d'un bras de 50 centimètres, qui tourne à environ 42 tours par minute, engendrant une accélération centrifuge de 1 g équivalente à la gravité terrestre, mais cette fois-ci horizontale. Les sujets sont placés dans l'obscurité, de sorte que le cerveau dépende uniquement des informations de l'oreille interne pour détecter le mouvement.

Sur la Terre, à la mise en route de la centrifugeuse, les sujets ont généralement la sensation d'un mouvement de rotation pendant à peine une minute. Cette sensation est due à la stimulation d'un autre type de récepteurs situés dans l'oreille interne, les canaux semi-circulaires. Ces canaux ne sont plus stimulés lorsque la rotation atteint une vitesse constante. Au contraire, les otolithes sont stimulés en permanence lors de la centrifugation, à la fois par la force gravitationnelle, verticale, et par la force centrifuge, horizontale. La somme de ces forces est oblique ; le cerveau interprète faussement qu'il s'agit de la gravité. Comme la gravité est naturellement alignée avec la verticale, le cerveau déduit des signaux reçus de l'oreille interne que le corps est incliné de 45 degrés par rapport à la gravité (voir la figure de la page ci-contre, à gauche). Quand on mesure les mouvements oculaires pendant la centrifugation, on constate une rotation des globes oculaires dans la direction opposée à l'inclinaison perçue, comme si le cerveau tentait de compenser la rotation de l'image visuelle sur la rétine suite à une inclinaison.

La trajectoire orbitale de la navette est physiquement comparable à une chute libre. Par conséquent, la force gravitationnelle n'est pas détectée par les récepteurs