

> améliorant le blindage des vaisseaux spatiaux, nous pourrions arrêter une partie de ce rayonnement délétère, mais aucun matériau connu n'est à la fois assez léger pour être transporté en orbite et efficace pour protéger les astronautes. Et nous n'en sommes qu'aux premiers balbutiements dans le développement de médicaments susceptibles de combattre les effets du rayonnement à l'intérieur du corps. À moins que nous ne trouvions une solution qui fonctionne vraiment, le rêve humain de voyager dans le Système solaire et au-delà pourrait rester à jamais hors de portée.

UN BOMBARDEMENT COSMIQUE CONSTANT

Le rayonnement cosmique est pernicieux : nous ne pouvons ni le voir ni le sentir, et pourtant il emplit chaque centimètre cube de ce qui semble être de l'espace vide. Or il peut provoquer des dégâts importants dans les tissus biologiques. Le plus grand danger pour les astronautes est celui des rayons cosmiques d'origine galactique, principalement des noyaux atomiques ionisés (88% d'hydrogène, 9% d'hélium, des traces d'éléments plus lourds, mais aussi des photons) qui se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière. Ils sont probablement produits et accélérés dans les supernovæ, de violentes explosions d'étoiles en fin de vie.

À ces rayons cosmiques galactiques qui imprègnent le cosmos de façon quasi uniforme, il faut ajouter les particules du vent solaire et celles des éjections de masse coronale lors des éruptions solaires. Ces particules (également des ions en majorité) sont expulsées à des vitesses comprises entre 300 et 800 kilomètres par seconde pour le vent solaire, et jusqu'à 2500 kilomètres par seconde lors des éjections de masse coronale. Moins énergétiques que les rayons cosmiques galactiques, elles sont cependant plus nombreuses (voir la figure page ci-contre).

Qu'elles soient d'origine solaire ou galactique, ces particules ont assez d'énergie pour traverser la coque des vaisseaux spatiaux et le corps des astronautes. Sur Terre, le champ magnétique de la planète protège les organismes vivants en déviant la plupart de ces particules cosmiques, qui n'atteignent pas le sol. Il s'étend jusqu'à environ 60000 kilomètres d'altitude du côté du Soleil et s'étire bien plus loin du côté « nuit ». Ainsi, les voyages au-delà de cette magnétosphère (la Lune est par exemple située à près de 400000 kilomètres de la Terre) conduisent inévitablement à une exposition accrue aux rayons cosmiques et à leurs interactions avec les tissus humains.

Que se passe-t-il lorsque les ions du rayonnement cosmique traversent le corps humain ? Ils laissent derrière eux une partie de leur

énergie et ionisent des atomes des tissus biologiques, c'est-à-dire qu'ils leur arrachent des électrons. Ces atomes, initialement neutres, se transforment en ions chargés. Ces derniers se propagent à leur tour dans l'organisme, arrachant au passage d'autres électrons à d'autres atomes, ce qui a pour effet d'élargir encore le sillage destructeur. Et plus la particule initiale du rayon cosmique est un ion lourd, plus elle aura d'énergie et plus elle ionisera d'atomes.

L'arrachage des électrons des atomes entraîne la rupture de liaisons moléculaires. Des protéines, des lipides, des acides nucléiques et d'autres molécules vitales des cellules et des tissus du corps sont alors endommagés. Les atomes et les molécules privées de certains de leurs électrons deviennent des radicaux libres, des composants qui deviennent très réactifs et prompts à s'apparier avec des atomes ou des molécules voisines afin de récupérer des électrons et retrouver une configuration plus stable. Ce faisant, les radicaux libres transforment les molécules de l'organisme en nouveaux composés chimiques qui ne remplissent plus la fonction initiale. Quand des radicaux libres rencontrent de l'ADN, par exemple, ils peuvent casser son ossature de sucres et de phosphates, ou endommager les bases d'acides nucléiques.

L'exposition aux radiations est mesurée en termes de « dose absorbée », qui correspond à l'énergie déposée dans le corps (par unité de masse corporelle) par le rayonnement ionisant. Dans le système international, l'unité pour la dose absorbée est le gray (Gy) ; 1 gray correspond à l'absorption de un joule par kilogramme.

La dose absorbée n'est pas le seul critère important. Les scientifiques caractérisent aussi le rayonnement en fonction de la densité d'ionisation qu'il produit par unité de dose. On parle de transfert linéique d'énergie (TLE). Cette grandeur indique la quantité d'énergie transférée au corps au voisinage de la trajectoire (sous la forme d'électrons secondaires arrachés aux atomes) par unité de distance parcourue. Par conséquent, pour une dose donnée, un rayonnement de TLE élevé est plus dangereux que celui de TLE faible, parce qu'il provoque l'ionisation d'un plus grand nombre d'atomes. Mais surtout, à l'échelle moléculaire, les chercheurs observent que les ions lourds et énergétiques ayant un TLE élevé créent des zones de tailles nanométriques riches en radicaux libres où se concentrent les dommages. À l'inverse, les ions légers, mais aussi les photons (tels les rayons X et gamma), produisent peu des zones concentrées de radicaux libres. Dans les zones à forte concentration de radicaux libres, les dégâts sont plus importants et difficiles à réparer pour la cellule.

EN CHIFFRES

0,03 mGy

(1 mGy = 10^{-3} Gy)

Dose de rayons cosmiques absorbée au cours d'un vol de New York à Los Angeles

0,1 mGy

Dose absorbée pendant une radiographie de la poitrine

0,7 mGy

Dose absorbée pendant une mammographie

3-4 mGy

Exposition moyenne accumulée pendant une année due à toutes les sources naturelles (sol, rayons cosmiques, radon, etc.)

4 Gy

Dose pour laquelle on estime à 50 % les risques de décès