

★ MUSÉE DU QUAI BRANLY JACQUES CHIRAC

En librairie
le 6 décembre
2017

LA REVUE GRADHIVA★



En croire ses sens

L'intérêt croissant des anthropologues pour les cultures matérielles a fourni ces dernières années un nouveau cadre méthodologique et théorique à l'étude des religions, montrant que celles-ci ne relèvent pas uniquement du domaine de la pensée ou de la foi.

Elles sont le produit de gestes ordinaires et répétitifs, de contraintes relationnelles, économiques et spatiales, de déterminismes techniques et de potentialités médiatiques. Les récents travaux sur la fabrication d'objets culturels, l'action des humains et non-humains sur les espaces liturgiques, l'exécution de gestes rituels ou encore l'éducation corporelle des pratiquants, plaident pour une approche pragmatique du fait religieux. Dans la continuité de cette démarche, ce numéro porte l'attention sur le faire plus que sur le croire et développe une réflexion sur les dimensions matérielles et sensorielles de l'expérience religieuse.

À partir d'ethnographies détaillées qui font dialoguer les mondes afro-cubains, chrétiens et musulmans, il explore la manière dont la religiosité s'expérimente en marchant, touchant, récitant, lisant, entendant ou voyant. Quels types de connaissances émergent-ils des divers modes de contact avec la matière ? En quoi les qualités esthétiques conduisent-elles à la formation, la transmission et l'incorporation de savoirs spécifiques ?

Comment la sensorialité structure-t-elle l'expérience, l'imagination et la praxis ?

L'ESSENTIEL

> Les voyages dans l'espace ont toujours été dangereux, mais de nouveaux résultats montrent que les rayons cosmiques sont encore plus nocifs pour le cerveau qu'on ne le pensait.

> Pour simuler les effets des rayons cosmiques sur les astronautes, des chercheurs ont exposé des souris à un flux de particules chargées. Ils ont

observé à la fois des altérations comportementales et des dommages neuronaux.

> Des blindages renforcés pour les vaisseaux, des combinaisons spatiales plus performantes et des médicaments pour protéger le cerveau seront nécessaires pour permettre aux humains de séjourner de longues durées dans l'espace.

L'AUTEUR



CHARLES LIMOLI
neuroscientifique et
radiobiologiste à la faculté
de médecine de l'université
de Californie à Irvine,
aux États-Unis

Le cerveau, interdit de voyage spatial

DES EXPÉRIENCES SUR DES SOURIS MONTRENT QUE LE RAYONNEMENT COSMIQUE DÉTRUIT DES CONNEXIONS NEURONALES ET DÉGRADE LES PERFORMANCES COGNITIVES. UN OBSTACLE PLUS SÉRIEUX QU'ON NE LE PENSAIT POUR LES VOYAGES INTERPLANÉTAIRES HABITÉS.

Depuis des millénaires, les hommes regardent le ciel et rêvent de voyager vers les étoiles. Maintenant que certains ont marché sur la Lune et vécu parfois plusieurs mois en orbite dans la Station spatiale internationale, il semble inévitable que nous tentions d'aller plus loin : Mars, le reste du Système solaire, voire au-delà. Ce rêve est partagé par de nombreuses cultures et occupe les agences spatiales de plusieurs nations.

Et pourtant, nous savons que l'espace est un milieu hostile. Chaque fois que des astronautes quittent la Terre, ils sont confrontés à un froid extrême, à l'absence d'atmosphère, à la microgravité et à l'exposition au rayonnement cosmique. Ces dangers ont jusqu'à présent été considérés comme surmontables : essentiellement des problèmes que les ingénieurs font leur possible pour régler et des risques que les courageux voyageurs spatiaux acceptent de prendre. Mais plusieurs équipes, dont la mienne, ont montré récemment que les

radiations dans l'espace pourraient être plus nocives que nous ne le pensions, en particulier pour le cerveau humain, un organe fragile et néanmoins essentiel. Les chercheurs suspectaient depuis des décennies un tel impact, mais ce n'est que depuis peu que nous avons des indices concrets donnant toute la mesure des effets des rayons cosmiques sur le cerveau.

En soumettant des souris à un rayonnement comparable à celui auquel s'exposent les astronautes dans l'espace, mes collègues et moi avons observé des troubles cognitifs importants et durables, qui se retrouveraient probablement chez les humains et compromettraient potentiellement le succès des missions spatiales. Si les astronautes de la Station spatiale internationale, qui est en orbite relativement basse (à environ 400 kilomètres d'altitude), sont dans une large mesure protégés par le champ magnétique terrestre, le risque pour les voyageurs vers Mars et au-delà est autrement plus sérieux.

Notre capacité à réduire ces dangers pour les astronautes est pour l'instant limitée. En >



> 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

Ainsi, la partie du rayonnement spatial ayant un TLE élevé est bien plus dangereuse que les types de rayonnements ionisants classiques que l'on rencontre sur Terre. Les implications pour les voyages dans l'espace profond sont considérables, comme nous allons le voir.

REPRODUIRE LE RAYONNEMENT COSMIQUE SUR TERRE?

Il est difficile de produire sur Terre un rayonnement aux caractéristiques similaires à celles des rayons cosmiques, afin d'en étudier les effets sur l'organisme. Un des seuls endroits où il est possible de réaliser des expériences dans des conditions proches est le Laboratoire du rayonnement spatial, dans l'État de New York, une installation inaugurée en 2003, financée par la Nasa et gérée par le laboratoire national de Brookhaven, dont l'un des accélérateurs sert de source en ions énergétiques.

Avec mes collègues, nous avons étudié l'effet de ce rayonnement ionisant sur des souris. Les tests montrent de quelle façon des types particuliers de rayonnement cosmique, à diverses doses, affectent les tissus vivants. Récemment, nous avons exposé des souris à de faibles doses (0,05 à 0,30 Gy) de flux d'ions (oxygène et titane, par exemple). Nous avons ensuite évalué comment les radiations affectaient le comportement, la mémoire et les facultés de raisonnement des rongeurs. Pour ce faire, les souris effectuaient des tâches de type reconnaissance d'objets nouveaux (RON) et d'objets déplacés (OD). Dans un premier

temps, les animaux exploraient une boîte vide d'environ un mètre carré. Nous introduisions ensuite divers jouets dans la boîte et laissons les souris se familiariser avec eux. Plus tard (dans certains cas après quelques minutes seulement, et dans d'autres après plusieurs heures ou une journée entière), nous remplaçons ces jouets par de nouveaux objets (RON) ou nous les déplaçons dans la boîte (OD).

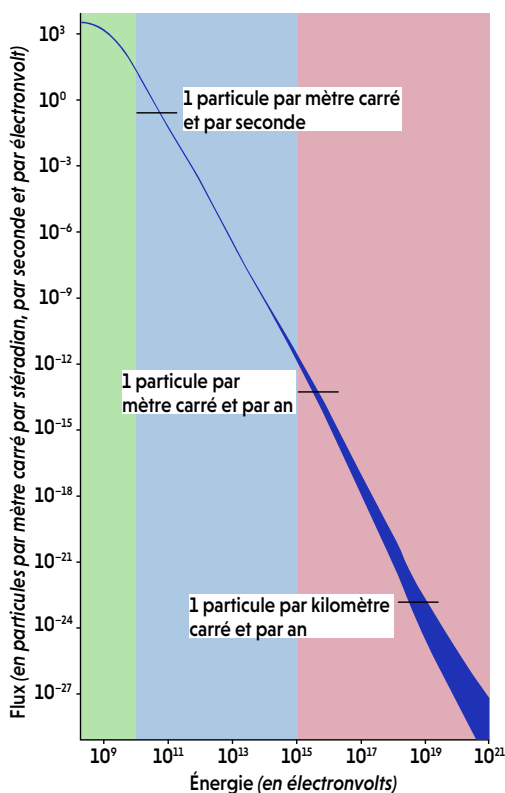
Un rongeur en bonne santé s'intéressera surtout à ce qui est nouveau dans son environnement. Il passera davantage de temps à explorer le nouveau jouet ou l'objet déplacé, plutôt que ceux qui n'ont pas changé. Une souris aux capacités diminuées passera moins de temps à fureter. Ces tests classiques sont des indicateurs fiables de différents types de fonctions de l'hippocampe (mémoire et apprentissage) et du cortex (raisonnement). Nous mesurons les performances d'un animal en comparant le temps passé sur le nouvel objet ou le nouvel emplacement et le temps total passé à explorer à la fois les situations nouvelles et les anciennes.

DES SOURIS MOINS CURIEUSES

Nos expériences avec les tâches RON et OD ont montré que l'irradiation diminue considérablement l'attrait d'une souris pour ce qui est nouveau. Six semaines après l'exposition au rayonnement, les performances des souris avaient chuté d'environ 90%, une variation qui était presque indépendante de la dose. De plus, des tests récents ont indiqué que ces effets perduraient encore 12, 24 et même 52 semaines après l'exposition. D'après ces résultats, l'exposition aux rayons cosmiques pourrait être problématique pour l'astronaute qui devra prendre des décisions ou résoudre des problèmes afin de mener à bien sa mission.

Mais que se passait-il dans le cerveau des souris irradiées? Mes collègues et moi avons étudié des coupes cérébrales de ces rongeurs et nous avons découvert que les ions énergétiques qui se propagent à travers le cerveau modifient le câblage neuronal. Pour voir spécifiquement le lien entre des dommages dans le cerveau et les modifications du comportement des souris, nous avons utilisé des souris qui avaient été génétiquement modifiées de telle sorte que leur cerveau présente des neurones fluorescents, visibles en microscopie à haute résolution. Nous avons recueilli une série d'images en fluorescence de diverses profondeurs dans des zones particulières du cerveau, que nous avons ensuite réunies et assemblées pour créer une représentation tridimensionnelle du cerveau.

Cette reconstruction a fait apparaître des modifications importantes dans les connexions des neurones. Le corps cellulaire d'un neurone comprend deux types d'extensions, l'axone qui transporte le signal du neurone jusqu'à une ➤



Le flux de rayons cosmiques qui arrivent au voisinage de la Terre dépend de l'énergie de ses particules. Les moins énergétiques sont les plus nombreuses. Elles proviennent principalement du Soleil (zone verte) avec des flux supérieurs à une particule par mètre carré et par seconde. Les rayons cosmiques d'énergie intermédiaire (zone bleue) ont une origine galactique avec des flux supérieurs à une particule par mètre carré et par an. Les particules les plus énergétiques (zone rouge) sont extrêmement rares, de l'ordre d'une par kilomètre carré et par an. Elles sont d'origine extragalactique mais les mécanismes qui leur confèrent de telles énergies ne sont pas encore connus.

> synapse (la zone de contact entre deux neurones) et les dendrites qui conduisent les signaux de la synapse vers le neurone. Lors de précédentes études au sein de mon laboratoire, nous avons observé que des rayons X et gamma peu ionisants (à faible TLE) entraînaient une réduction importante de la longueur, de la surface et des ramifications des dendrites pendant 10, voire 30 jours après l'exposition au rayonnement. Nous avons utilisé le terme de «réduction de la complexité dendritique» pour qualifier l'ensemble de ces dommages. Plus récemment, en 2015, nous avons mis en évidence que de très faibles doses de particules chargées provoquent des pertes significatives et persistantes de complexité dendritique.

De plus, nous avons observé ces changements dans une région spécifique du cerveau, le cortex préfrontal médian, une zone connue pour intervenir dans la mémoire, et dont nous soupçonnions qu'elle pourrait être endommagée au vu de nos tests du comportement des rongeurs. Et ces résultats n'excluent pas que d'autres régions du cerveau ou d'autres circuits neuronaux puissent être endommagés.

ÉLAGAGE DE L'ARBRE NEURONAL

En améliorant encore la résolution de nos images, nous avons recherché des signes d'altération sur d'autres structures dans le cerveau telles que les épines dendritiques, des excroissances minuscules (moins d'un micromètre, soit une fraction de l'épaisseur d'un cheveu humain) de la dendrite qui jouent un rôle important dans les fonctions d'apprentissage et de mémorisation. Si les dendrites sont les branches d'un arbre, les épines dendritiques en sont les feuilles. Les épines dendritiques contiennent les mécanismes synaptiques qui permettent aux dendrites de recevoir des signaux neuronaux.

Nos expériences avec des rayons X et d'autres avec des ions ont révélé une sensibilité marquée des épines dendritiques à l'irradiation. Et nous avons trouvé que la densité d'épines dendritiques diminuait nettement après l'exposition d'une souris, avec des effets visibles sur des périodes courtes (10 jours) ou longues (6 semaines). Ces effets persistants attestent de la capacité des ions des rayons cosmiques à provoquer des changements structuraux importants en réduisant le nombre de connexions synaptiques dans le cerveau, changements qui compromettent la capacité des neurones à assurer leur rôle.

Et effectivement, avec un suivi individuel des performances des souris, nous avons montré que lorsque la densité dendritique diminuait, les capacités cognitives en faisaient de même. Les animaux dont les performances étaient les plus mauvaises (c'est-à-dire dont la curiosité et

l'exploration de la nouveauté étaient réduites) présentaient aussi la plus faible densité d'épines dendritiques. Cela suggérait que la perturbation de la cognition était au moins en partie liée à la réduction du nombre d'épines dendritiques.

Tous ces résultats semblent ainsi confirmer ce que la Nasa soupçonnait depuis des années: les rayons cosmiques peuvent nuire aux performances cognitives des astronautes. Jusqu'à présent, ces craintes se fondaient en grande partie sur la littérature clinique documentant toute une gamme d'effets cognitifs chez des patients ayant survécu à une radiothérapie crânienne dans le cadre du traitement d'un cancer. Mais par le passé, les chercheurs hésitaient à

Le rêve de voyager dans le Système solaire et au-delà pourrait rester à jamais hors de portée

extrapoler ces résultats aux astronautes parce qu'il s'agit d'individus exposés à des doses et des types de rayonnement différents.

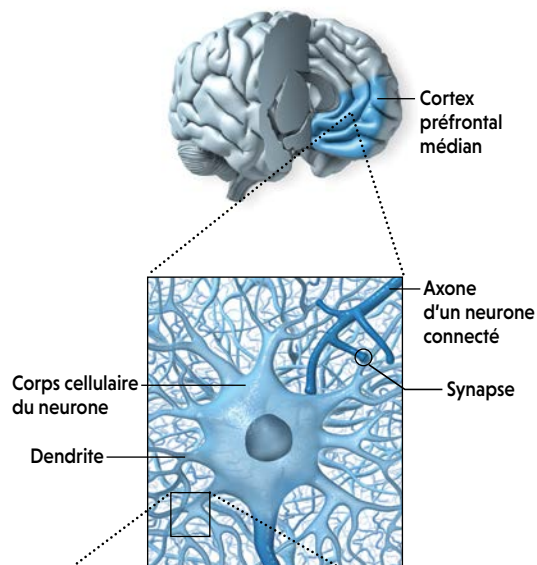
En clinique, une dose journalière typique (2 Gy) dépasse la plupart des estimations de la dose absorbée au cours d'une mission vers Mars (en comptant un an de voyage pour faire l'aller-retour et un an sur place). Les doses interplanétaires sont de l'ordre de 0,48 milligray par jour et la moitié seulement sur Mars (la masse de la planète bloque le rayonnement arrivant par en dessous). Par ailleurs, bien que les doses utilisées en clinique soient beaucoup plus élevées que dans l'espace, les rayons X et gamma utilisés pour traiter les tumeurs sont peu ionisants (TLE faible) alors que les particules chargées qui nous inquiètent dans l'espace ont un fort pouvoir ionisant (TLE élevé). Pour ces raisons, il est difficile d'extrapoler les conséquences pour les astronautes à partir des traitements de radiothérapie.

Cependant, pour être complet, quelques précautions sont à prendre dans l'interprétation de nos résultats. Nous avons utilisé des doses de rayonnement comparables à celles que recevraient des voyageurs spatiaux, mais nous n'avons pas pu administrer ces doses au même rythme que celui auquel les astronautes

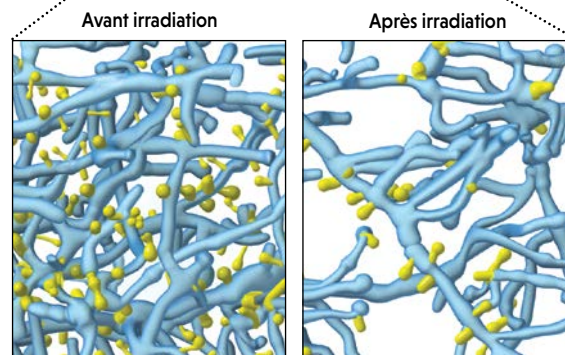
L'IMPACT DES RAYONS COSMIQUES SUR LE CERVEAU

Pour tenter d'évaluer les dommages causés par les rayons cosmiques au cerveau des astronautes, les chercheurs ont exposé des souris à un flux de particules chargées reproduisant au mieux celui qui se propage dans l'espace. Ils ont étudié à la fois la baisse des performances cognitives des rongeurs et les dommages physiques dans leur cerveau.

Le rayonnement simulant celui régnant dans l'espace endommage une région du cerveau des souris nommée cortex préfrontal médian, qui est associée à la mémoire. Dans cette région, le nombre et la taille de certaines excroissances des neurones ont diminué à la suite de l'irradiation.



Les dendrites reçoivent des signaux chimiques émis par d'autres neurones. Six semaines après l'exposition à une dose de rayonnement de 0,3 gray, les souris présentaient une réduction de 20 % à 40 % du nombre de leurs épines dendritiques (*en jaune*), petites excroissances de la branche principale de la dendrite qui jouent un rôle dans l'apprentissage et la mémorisation.



seraient soumis en conditions réelles. Dans l'espace, l'exposition des astronautes aux rayons cosmiques s'étale sur plusieurs mois ou plusieurs années. Parce que nous ne disposons que d'un accès limité à l'accélérateur, nous devons administrer la même dose en quelques minutes seulement.

Une question cruciale se pose donc: si la dose est administrée à un rythme plus lent, les cellules auraient-elles le temps de se réparer et de guérir? Il est peu probable que la différence de rythme d'exposition ait un effet marqué, parce que la dose totale est faible. En outre, les particules cosmiques les plus préoccupantes sont celles à TLE élevé, qui produisent des dommages cellulaires très localisés et dont il est difficile de se remettre, quelle que soit la rapidité d'administration. De plus, la plupart des régions du cerveau sont incapables de générer de nouveaux neurones facilement, ce qui entrave

encore davantage une éventuelle guérison. Et bien que nos découvertes concernent des rongeurs, et non les humains, nous n'avons aucune raison de penser qu'un neurone humain présenterait une réaction au rayonnement cosmique différente de celle des neurones de souris.

Pour envoyer des humains aux quatre coins du Système solaire, la liste des obstacles vient donc de s'allonger. Les astronautes auront besoin de fusées plus puissantes que celles disponibles aujourd'hui, et une fois arrivés à destination ils auront besoin d'habitats et de moyens pour exploiter les ressources sur place afin de produire de l'eau et des ergols. Nous devons maintenant, en plus, prendre en compte la nécessité de protéger les colons spatiaux des rayons cosmiques, et ce dernier point pourrait être l'obstacle le plus difficile à surmonter.

La première solution possible serait de construire des boucliers qui arrêteraient les ➤

> rayons cosmiques avant qu'ils ne puissent faire des dégâts dans l'organisme. Ces blindages seraient placés soit sur le vaisseau et les habitats, soit dans les combinaisons spatiales et les vêtements. Pour le moment, la seule méthode que les scientifiques connaissent pour protéger des rayons cosmiques est d'utiliser des matériaux denses, tels que le plomb. Ils sont efficaces, mais l'idée n'est pas envisageable : envoyer de grandes quantités de plomb dans l'espace, du fait de son poids, coûterait excessivement cher. Des efforts sont en cours pour concevoir des matériaux de blindage innovants, légers et efficaces.

Une autre idée est de limiter le blindage à certaines zones stratégiques de la coque où les astronautes pourraient se réfugier en cas d'éruption solaire par exemple. Les ingénieurs cherchent aussi à concevoir des casques et des combinaisons spatiales qui maximiseraient la protection contre les rayons cosmiques pendant les sorties dans l'espace ou même les heures de sommeil. Mais il faudrait trouver un matériau plus protecteur que tous ceux existant aujourd'hui.

Plutôt que d'utiliser des blindages lourds, une idée à l'étude est de créer un champ magnétique qui engloberait le vaisseau spatial. Mais ce champ devra être très intense (de l'ordre de 20 teslas) et on ignore les effets à long terme d'un tel champ sur l'organisme.

Une autre stratégie repose sur des médicaments et aliments que les astronautes absorberaient régulièrement ou après une exposition aiguë aux rayons cosmiques. Des compléments à base d'antioxydants, par exemple, pourraient neutraliser les radicaux libres et limiter leur action dans l'organisme. Les chercheurs ont aussi fait des progrès dans la conception de substances chimiques pouvant consolider les circuits neuronaux et les aider à maintenir leur fonction quand des dommages se sont produits.

Mais toutes ces approches n'en sont qu'aux premiers stades de développement, et aucune n'a le potentiel d'offrir une protection parfaite. Le mieux que nous puissions espérer est de réduire, et non pas éliminer, les dommages. Nous devons également continuer à explorer les effets du rayonnement cosmique sur le cerveau, ainsi que sur le corps entier, afin d'élucider plus complètement les risques sur la santé à court et à long terme.

NOTRE AVENIR DANS L'ESPACE ?

Quand on pense aux effets d'un rayonnement ionisant, le premier risque qui vient à l'esprit est celui du développement de cancer. Ce danger est mieux connu que celui que nous avons étudié sur la réduction des performances cognitives et les dommages produits sur le cerveau. Cependant, ce risque pourrait être d'une certaine façon moins critique pour une mission

spatiale car la plupart des cancers radiogéniques mettent du temps à se développer. En revanche, nous avons montré que même de petites quantités de rayonnement cosmique entraînent rapidement chez la souris des dommages neuronaux et des déficiences cognitives. Et tout laisse à penser que les rayons cosmiques pourraient avoir le même effet sur les humains.

La persistance de ces altérations induites par le rayonnement est une autre source d'in-



Les performances cognitives des souris avaient chuté d'environ 90 %



quiétude. Les chercheurs n'ont aucun élément permettant de penser qu'une fois endommagées par l'exposition aux rayons cosmiques, la complexité dendritique et la densité d'épines pourraient se rétablir. Et même s'il est prématuré de qualifier ces dégâts de permanents, nous n'avons pas d'indications selon lesquelles les neurones peuvent guérir après ce type d'atteintes. Par conséquent, jusqu'à ce que les chercheurs trouvent des interventions spécifiques capables de promouvoir et accélérer la guérison de ces tissus cérébraux irradiés, nos meilleures options semblent être limitées à protéger nos circuits neuronaux existants.

L'exposition au rayonnement cosmique pourrait bien représenter l'un des plus grands obstacles pour un voyage vers Mars, et encore davantage pour les missions plus longues destinées à explorer des planètes les plus distantes. Bien que certains puissent trouver discutable l'interprétation de ces résultats, il paraît difficile d'éluder ces données et leurs implications potentielles sur l'exploration spatiale. Cela signifie-t-il que nous sommes à jamais liés à la Terre ? Pas forcément. Ces résultats représentent peut-être simplement un obstacle supplémentaire que les chercheurs doivent affronter et surmonter tandis que nous nous préparons à nous embarquer dans ce qui pourrait être le défi le plus redoutable de l'humanité, mais aussi peut-être, qui sait, sa plus grande réussite... ■

BIBLIOGRAPHIE

V. K. Parihar et al., **What happens to your brain on the way to Mars**, *Science Advances*, vol. 1(4), e1400256, 2015.

F. A. Cucinotta et al., **Space radiation risks to the central nervous system**, *Life Sciences in Space Research*, vol. 2, pp. 54-69, 2014.

N. Pattyn et P.-F. Migeotte, **Vivre dans l'espace**, *Pour la Science*, n° 422, décembre 2012.

Livre
conseillé par
POUR LA
SCIENCE

Le vivant, demain, à l'ère digitale

la singularité

DEPUIS LES DOMAINES DU DIGITAL ET DE LA BIOLOGIE MOLÉCULAIRE, ON NOUS

du vivant

ANNONCE QUE TOUS LES MÉCANISMES BIOLOGIQUES VONT ENFIN

miguel

ÊTRE RÉVÉLÉS, MODÉLISÉS, DÉPASSÉS.

benasayag

ON SE PASSERA DU MONDE RÉEL ET DU VIVANT LUI-MÊME



[MANIFESTE LE POMMIER !]

Le temps serait venu
de se passer
du monde réel et
du vivant lui-même,
désormais réductible
à ses composants,
à une mécanique.
Mais est-ce cela,
la vraie vie ?

224 pages, 17 €

Retrouvez toutes nos nouveautés sur notre site
www.editions-lepommier.fr

