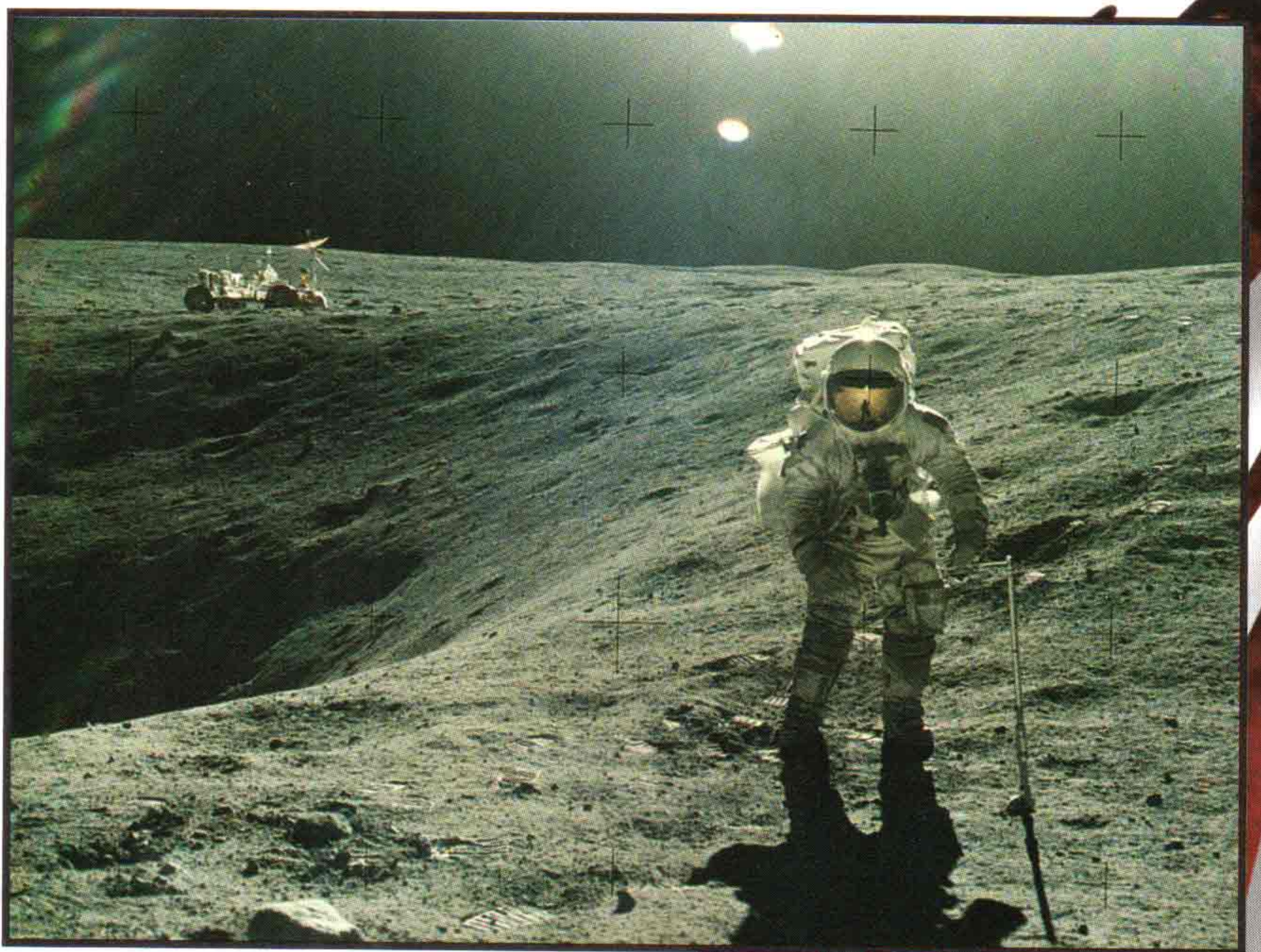


C'EST aujourd'hui le nouveau grand défi spatial. Celui que les scientifiques devront absolument relever si les missions habitées de longue durée et les explorations planétaires prennent corps. Qu'on se souvienne : le 16 avril 1972, le vaisseau Apollo 16 s'envolait de cap Kennedy pour une mission de trois semaines vers la Lune. Au cours de celle-ci, les astronautes John Young et Charles Duke vont circuler librement à la surface lunaire, protégés seulement de l'espace interplanétaire par la mince épaisseur de leur scaphandre. Quelques mois plus tard, en décembre 1972, c'était le tour d'Apollo 17, avec Cernan et Schmitt, les derniers hommes à s'être posés sur la Lune. Ces astronautes sont revenus indemnes de leur aventure. Ils ont eu beaucoup de chance ! En effet, le 4 août 1972, entre ces deux missions, a eu lieu une fantastique explosion solaire, comme il s'en produit une tous les dix ans environ. Pendant seize heures, un flot intense de particules issues du Soleil à des vitesses très élevées a balayé l'espace interplanétaire. Comme autant de minuscules balles de fusil, elles peuvent pénétrer plusieurs centimètres de blindage métallique. Si cette éruption avait eu lieu lors d'une sortie lunaire, les astronautes auraient très probablement été mortellement irradiés. Même à l'intérieur de leur capsule spatiale, ils auraient pu subir des doses entraînant des dégâts irréversibles dans leur formule sanguine et leur patrimoine génétique.

Au sol, l'atmosphère nous protège plus ou moins bien. Mais dans l'espace ou à bord des avions de ligne, l'homme est directement exposé aux rayonnements cosmiques qui peuvent être mortels. Un véritable frein à la présence humaine prolongée dans l'espace. Une menace que les agences spatiales, à la recherche de protections efficaces, prennent très au sérieux.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud et Hervé Dzitko



Photos Nasa

Lorsqu'en avril 1976, les astronautes John Young et Charles Duke (ci-dessus) ont marché sur la Lune lors de la mission Apollo 16, ils ont eu beaucoup de chance d'échapper à l'une des colères du Soleil. Elle les aurait immergés dans un flot de particules irradiantes mortelles. Vingt ans plus tard, le problème est toujours d'actualité pour les passagers de la navette spatiale (en bas à droite).

Cet épisode a fait prendre conscience aux agences spatiales qu'en dehors des accidents techniques, l'espace restait en lui-même un milieu hostile, voire mortel. Alors que sont envisagés de longs voyages humains vers Mars et une occupation quasi continue de stations orbitales, scientifiques et ingénieurs sont face à une évidence. Les limita-

tions majeures des missions spatiales ne seront pas les ressources énergétiques ou les moyens de propulsion, mais bien la protection de ces voyageurs qui vont s'engager dans des périodes de plusieurs années. Peut-on espérer un jour vivre dans l'espace en toute sécurité ? Le risque des radiations cosmiques commence seulement à être évalué. Et il n'existe aujourd'hui aucune protection facile à mettre en œuvre.

Pour se rendre compte des dangers qui environnent la Terre et de notre situation très protégée à sa surface, il suffit de suivre le voyage vers notre planète d'une particule en provenance de la Galaxie. À quelques dizaines de milliards de kilomètres de la Terre, soit plus de cent fois la distance Terre-Soleil, nous sommes dans le vide interstellaire. Mais ce vide est loin d'être "vide" : c'est le royaume du rayonnement cosmique, un flot de particules redoutables qui voyagent à une vitesse proche de celle de la lumière. Ce sont des noyaux d'atomes, constitués à 87 % de protons (noyaux d'hydrogène), 12 %

Radiations cosmiques

Danger dans



de particules alpha (noyaux d'hélium) et de 1 % de noyaux plus lourds, allant jusqu'à l'uranium ! Leur origine :

l'explosion des étoiles à la fin de leur vie. Un mécanisme (pas encore totalement élucidé) accélère une faible fraction de la matière rejetée par l'étoile à une vitesse voisine de celle de la lumière. La Galaxie est ainsi baignée dans cette pluie de noyaux rapides dont l'énergie est phénoménale puisqu'elle peut largement dépasser un milliard d'électronvolts (1 GeV), soit un milliard de fois supérieure à celle de la lumière visible. À ces énergies, ces particules traversent un blindage d'aluminium de 1,5 m d'épaisseur !

Face à cette pluie continue, la Terre est heureusement protégée par un premier rempart, la bulle solaire. Comme la plupart des étoiles, le Soleil perd une partie de son atmosphère dans l'espace. Plusieurs

l'espace

millions de tonnes par seconde s'échappent ainsi, constituant un intense vent de particules qui emprisonnent un champ magnétique. Ces particules, essentiellement des protons, ont une énergie moyenne relativement faible, de quelques milliers d'électronvolts (keV), ce qui les rend peu dangereuses. En revanche, ce vent solaire et son champ magnétique qui balaie l'espace constituent un cocon protecteur que les particules galactiques ont du mal à pénétrer. C'est ainsi que le vent solaire parvient à chasser une partie de la pluie galactique.

L'efficacité de cette barrière varie fortement avec l'activité du Soleil, qui suit un cycle périodique de 11 ans (voir *C&E* n° 360, mai 2000). C'est au maximum de l'activité solaire, comme en ce moment, que nous sommes le mieux protégés car le vent solaire est alors le plus dense. Par rapport au minimum solaire, le flux cosmique est divisé d'un facteur 2 à 10 selon l'énergie des particules. Malheureusement pour nous, durant cette même période, le Soleil protecteur peut aussi être un Soleil dangereux. Avec la montée de l'activité solaire, la fréquence des éruptions solaires violentes augmente. C'est l'une d'entre elles qui aurait mis en danger la vie d'astronautes en 1972. Ces brusques orages, qui se superposent au vent solaire, libèrent une énergie colossale, équivalant à plusieurs milliards de fois la bombe d'Hiroshima. Mais s'il se produit des éruptions presque quotidiennes sur le Soleil, seule une dizaine par an injecte temporairement dans la bulle solaire une dose intense de particules dont l'énergie

moyenne peut atteindre plusieurs centaines de millions d'électronvolts (MeV). Une fois tous les dix ans (comme en 1956, 1972 ou 1989) atteint des énergies de l'ordre du gigaélectronvolt, similaires à celles du rayonnement galactique. Ces véritables raz de marée peuvent durer plusieurs dizaines d'heures. Dans la météo cosmique, ce sont ces événements, extrêmement violents et encore largement imprévisibles, qui représentent des dangers quasi mortels.

Heureusement, le torrent de particules galactiques et solaires va encore rencontrer sur sa route vers la Terre deux boucliers supplémentaires : la magnétosphère et l'atmosphère terrestres. La première est délimitée par les lignes du champ magnétique

Le tout dernier rempart des hommes contre la pluie cosmique

de la Terre, du pôle Nord au pôle Sud. Elle s'étend au niveau de l'équateur jusqu'à 60 000 km dans la direction du Soleil et près de 600 000 km à l'opposé. Sur cette vaste structure magnétique, les particules électriquement chargées du rayonnement cosmique, très sensibles aux champs magnétiques, viennent rebondir. Dans les régions équatoriales, la magnétosphère est donc un bouclier presque étanche que seul

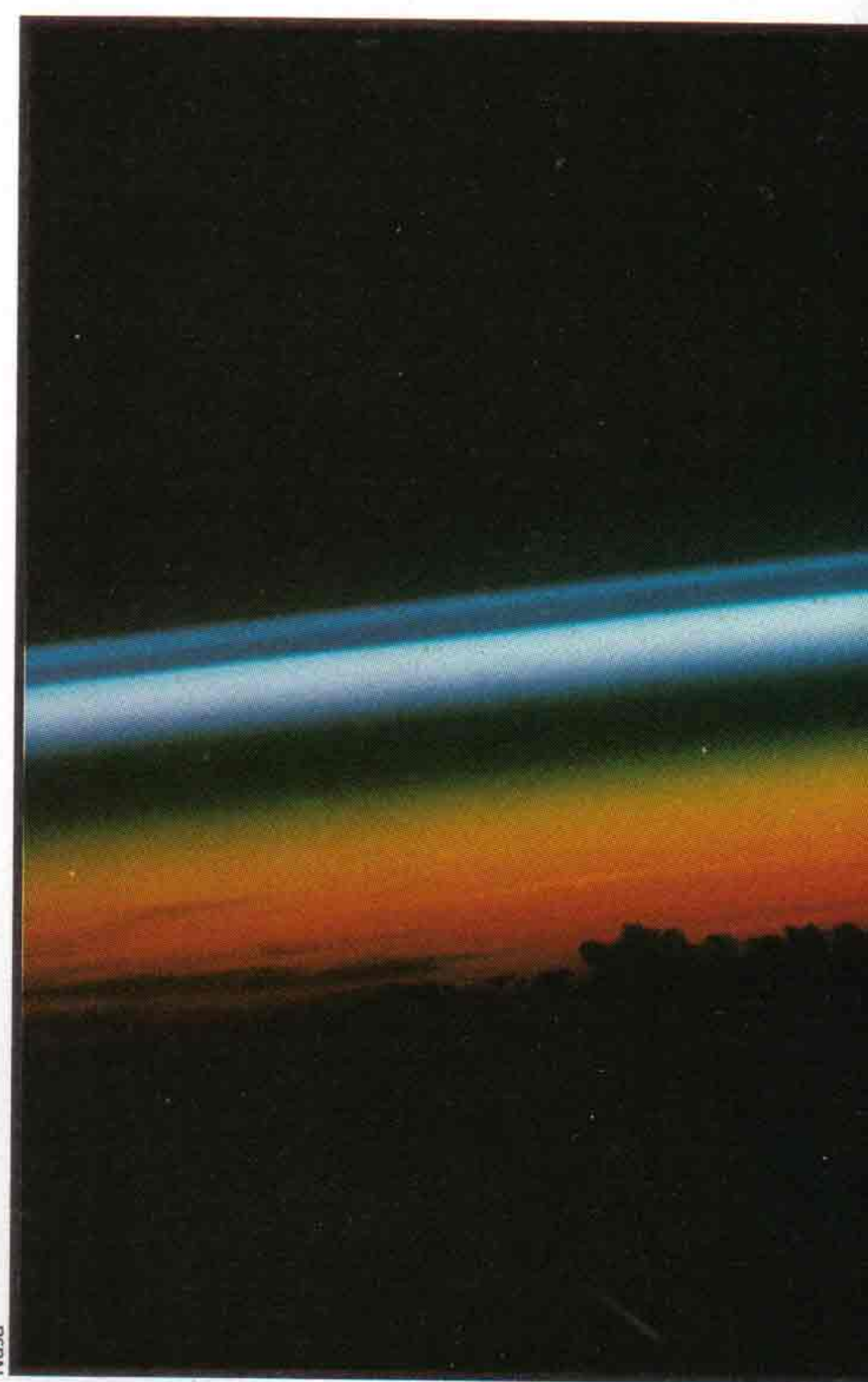
Le dangereux cumul des doses

Les rayons cosmiques et la radioactivité sont cousins germains. Tous deux se manifestent par la production de rayonnements de haute énergie (X et gamma) et de particules énergétiques qui peuvent traverser plusieurs centimètres de matière et venir déposer une énergie importante au cœur même des cellules. Ils agissent à l'échelle atomique et l'irradiation qu'ils provoquent est totalement invisible et indolore. L'ampleur des dégâts dépend de l'énergie et du type de rayonnement. La mesure de l'effet biologique est obtenue en multipliant la dose reçue par un facteur de "qualité". Il caractérise la nocivité de chaque rayonnement et va de 1 pour les rayons X et gamma, à 10 pour les neutrons, et 20 pour les noyaux d'hélium. Il est encore plus élevé et très mal évalué

pour les noyaux lourds. La dose équivalente reçue

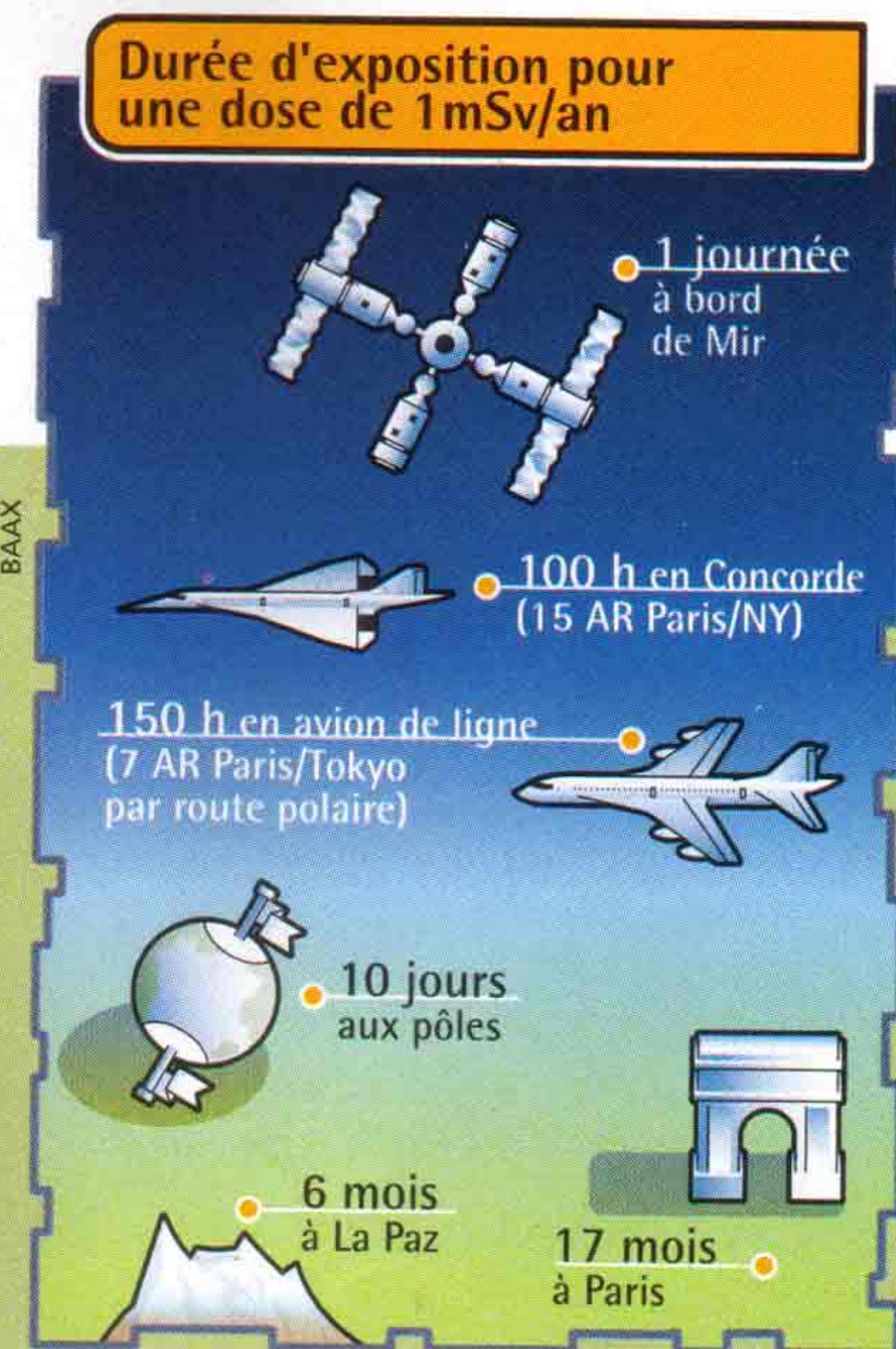
est alors exprimée en Sievert (du nom d'un médecin radiologiste suédois).

Pour un être humain, les doses cumulées varient de 2 millisievert (mSv) par an à la surface du globe, à 50 mSv/an en altitude, 500 mSv en orbite et atteignent jusqu'à 1 000 mSv dans l'espace interplanétaire. Une dose de 4 000 mSv, délivrée en moins de quelques heures, est considérée comme mortelle dans 50 % des cas, 2 500 à 3 500 mSv entraîne la stérilité et 1 000 mSv une modification majeure de la formule sanguine. Les conséquences physiologiques de l'irradiation sont néanmoins très variables selon la répartition de la dose. Une irradiation unique et concentrée est plus nocive que si elle est répartie dans le temps. Son principal effet est une rupture des liaisons chimiques, avec notamment des lésions importantes de l'ADN, la molécule porteuse au sein des cellules du message



Nasa

un petit nombre de particules de très haute énergie franchit. En revanche, comme un parapluie qui laisse l'eau s'écouler sur ses bords, cette magnétosphère est impuissante à arrêter les particules dans la région des pôles. Tout au contraire, en les canalisant, elle en augmente la concentration. Cette brèche dans le bouclier magnétique



génétique. Ces lésions peuvent entraîner une transformation maligne des cellules, avec l'apparition de cancers, et des perturbations génétiques graves. Les doses élevées causent la mort rapide des cellules. En revanche, l'effet des faibles doses est encore mal connu. Dans certains cas, l'organisme est capable de réparer une partie des dégâts mais si l'irradiation est répétée, ses capacités de réparation sont vite saturées.



La haute atmosphère constitue l'ultime protection des êtres vivants contre les radiations cosmiques. Son barrage est largement suffisant pour arrêter la plupart d'entre elles. Sur ce cliché, on distingue les différentes couches de l'atmosphère, rouges pour les plus denses, bleues pour les plus diffuses.

terrestre est nettement visible dans le ciel des hautes latitudes. C'est là que se forment les aurores boréales et australes, illuminations colorées produites par cette pluie concentrée de particules sur la haute atmosphère.

Celle-ci est le tout dernier rempart des hommes contre la pluie cosmique et un des plus efficaces. La mince couche d'air de quelques dizaines de kilomètres d'épaisseur qui nous sépare de l'espace équivaut tout de même, en masse, à un mur d'eau d'environ 10 m de haut. Un barrage largement suffisant pour arrêter la plupart des rayonnements nocifs. Ainsi, même avec le fameux trou d'ozone, nous restons presque complètement à l'abri des rayonnements ultraviolets, X ou gamma, et de la majorité des particules à grande vitesse circulant dans le cosmos.

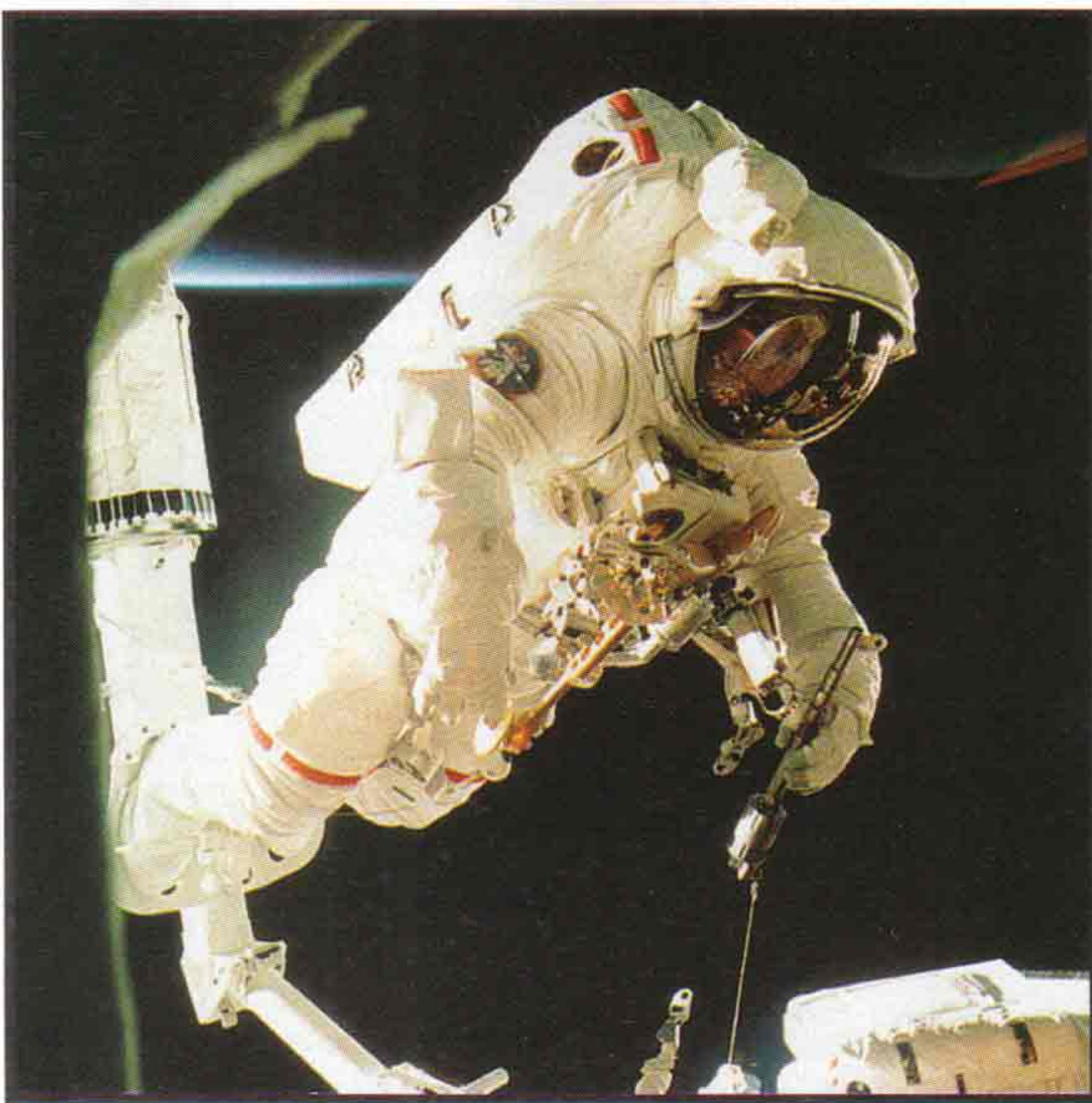
C'est pour cette raison que le problème de l'irradiation par les particules cosmiques ne se pose pratiquement pas sur le sol de notre planète. À elles seules, la magnétosphère et l'atmosphère terrestres divisent par plus de 4 000 la dose que nous devrions recevoir ! L'irradiation causée par l'exposition à des rayonnements ionisants⁽¹⁾ existe néanmoins sur Terre mais elle est due à des phénomènes purement terrestres, naturels ou artificiels. Elle commence dès que nous sommes en contact avec des sources de rayons X, gamma ou radioactives : lorsque

nous subissons une radiographie, un examen de scanner ou que nous vivons dans un environnement de granit, par exemple.

La dose moyenne de radiations à laquelle nous sommes exposés à la surface du globe est de 2 à 3 millisieverts (mSv) par an, exprimée dans une unité qui tient compte à la fois de l'énergie des rayonnements et de leurs effets physiologiques (voir encadré). Un peu moins de la moitié

bilan, les particules cosmiques ont une part modeste — moins de 10 %. Le reste est fourni par des matières radioactives naturelles contenues dans les sols, les eaux et dans l'air à la suite des essais atmosphériques d'armes atomiques ou d'accidents comme celui de Tchernobyl. Mais la formidable protection dont nous bénéficions sur terre diminue très vite dès que nous prenons de la hauteur. Ainsi le passager d'un avion de ligne croisant à l'altitude moyenne de 10 km a traversé près des trois quarts de l'atmosphère. La dose qu'il reçoit est multipliée par plus de 100.

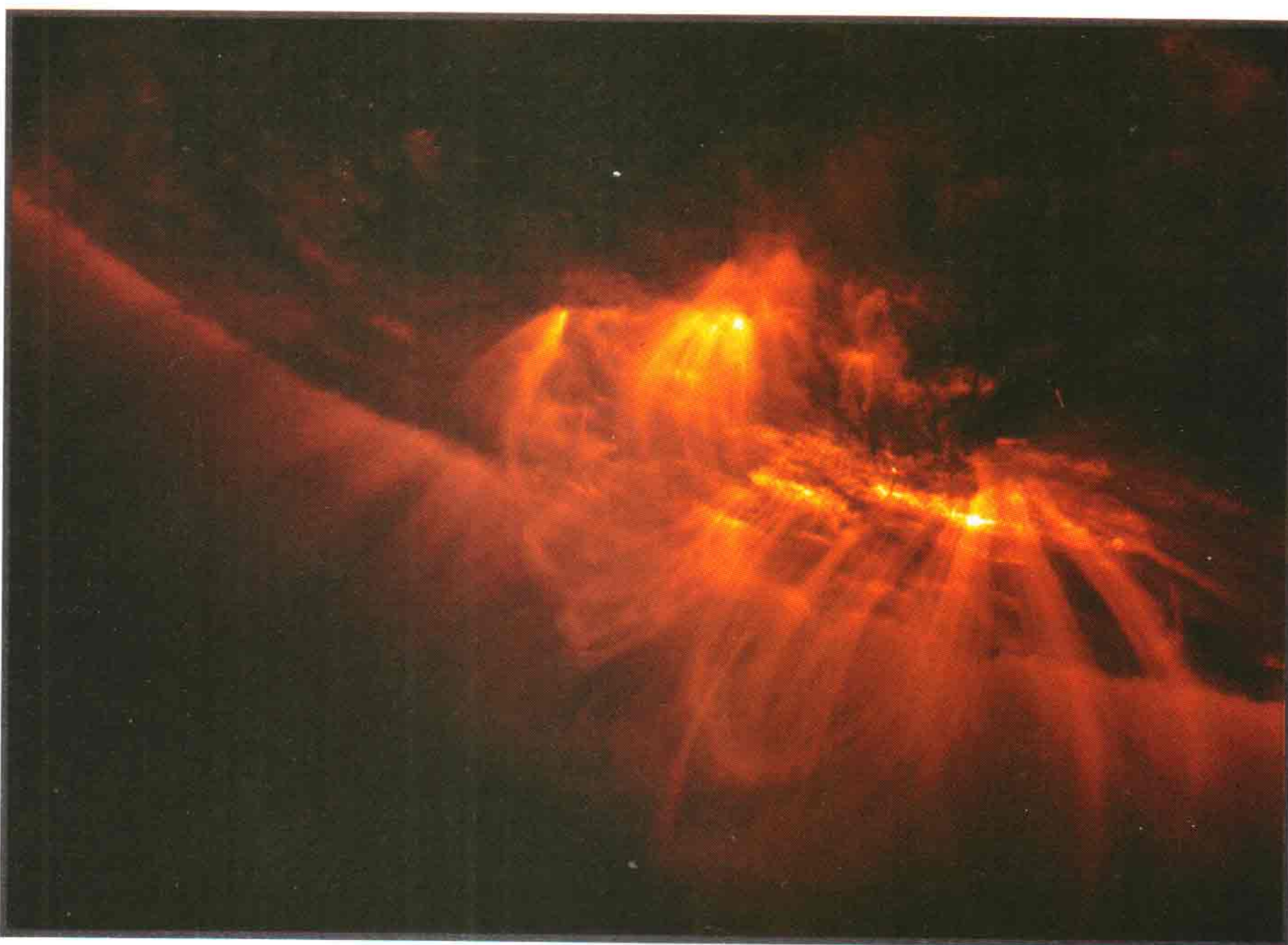
Là-haut, dans l'atmosphère, le danger vient d'abord principalement des particules secondaires. Elles sont créées lorsque les protons du rayonnement cosmique percutent les atomes d'oxygène et d'azote atmosphériques. Parmi la cascade de particules secondaires engendrées, les neutrons, d'une énergie moyenne de 10 MeV, sont responsables de 50 à 80 % de la dose de radiation. Cette exposition varie fortement lorsque la protection de la magnétosphère ou de l'atmosphère diminue, c'est-à-dire quand on s'approche des pôles ou lorsque l'altitude dépasse 15 km, comme dans le cas du *Concorde*. En fonction du nombre d'heures passées en altitude, notamment pour le personnel navigant, la dose moyenne cumulée avoisine 5 mSv par an, soit plus du double de celle au sol.



Dans l'espace, les astronautes n'ont que leur scaphandre pour les protéger des rayons cosmiques. Un véritable casse-tête pour les agences spatiales !

de cette dose (40 %) résulte d'examens médicaux, à égalité avec des sources naturelles de radioactivité. La principale de celles-ci est le radon, un gaz radioactif qui s'échappe naturellement de roches riches en uranium, comme le granit. Dans ce

La haute atmosphère est donc peu hospitalière. Mais si l'on s'élève davantage, la situation devient nettement plus préoccupante, comme c'est le cas en orbite. À quelque 400 km d'altitude, les spationautes sont bien au-dessus de l'atmosphère mais encore sous le parapluie de la magnétosphère. Des détecteurs, placés à bord du laboratoire américain Skylab en 1972 ou lors des missions Aragatz (1988), Antarès (1992) ou Altaïr (1993) sur la station russe Mir, ont enregistré des taux de radiations cosmiques 1 000 fois supérieurs à ceux reçus au sol, avec des pics pouvant atteindre 50 000 fois ! La principale cause reste les particules secondaires. Une partie d'entre elles, principalement des protons et des électrons, remontent mais se trouvent bloquées par la magnétosphère au-dessus d'elles. Elles s'accumulent alors autour de la Terre dans ce que les spécialistes appellent les ceintures de radiations, ou ceintures de Van Allen. Ces zones sont à éviter à tout prix. Les satellites en orbite basse restent assez bien protégés en dessous d'elles mais ils viennent néanmoins frôler un point chaud de l'irradiation. En effet, comme les pôles



Nasa/Trace

magnétiques terrestres sont décalés par rapport aux pôles géographiques, il existe une région critique, qui correspond à un affaiblissement des ceintures de radiations situé au large des côtes brésiliennes, dans une zone baptisée "anomalie de l'Atlantique Sud", véritable triangle des Bermudes pour les radiations. Dans cette région, que Mir traverse en quelques minutes seulement, les cosmonautes reçoivent 30 % de leur dose journalière. Dans l'espace proche, à

Ces protubérances solaires ont été photographiées dans l'ultraviolet en 1998 par le satellite Trace. Lorsqu'elles se rompent, elles injectent des flots de particules ionisées dans la bulle solaire.

quelques centaines de kilomètres de la Terre, les conditions sont donc particulièrement rudes puisque la dose maximale admissible au sol pour une année entière est atteinte en orbite en un jour !

Pour ces hommes qui consentent librement à s'exposer à ces périls invisibles, la norme maximale de référence est actuellement fixée à 500 mSv par an, soit... 500 fois la norme pour le grand public. Les cosmonautes peuvent donc être considérés comme de vrais cobayes humains, exposés à des risques dont les conséquences à long terme sont encore mal évaluées. Ils ont d'ailleurs été les premiers à signaler un effet directement sensible de ces radiations : les yeux fermés, ils enregistrent des éclairs lorsqu'une particule ionisante traverse leur globe oculaire. Les sorties dans l'espace sont des moments où ils sont particulièrement exposés, car leur scaphandre leur procure une faible protection. La construction de la station spatiale internationale (ISS), qui doit s'achever en 2004, suppose 43 vols de navettes et plus de 1 500 heures de sorties extravéhiculaires, en pleine phase de maximum solaire. Le Conseil national de la recherche américain a publié en décembre dernier un rapport sur les dangers encourus par les astronautes durant ces sorties. Il a émis des recommandations précises pour l'installation de dosimètres à l'extérieur de l'ISS afin d'alerter ces hommes en cas d'augmentation significative du niveau des radiations. Le meilleur remède pour limiter les dégâts physiologiques consiste bien sûr à contrôler soigneusement la longueur des missions, ce qui ne pourra pas toujours être fait.

À l'abri en sous-sol

Les radiations constituent un danger maximal pour un vaisseau exposé sur toutes ses faces durant un voyage interplanétaire. Il ne disparaît pas une fois arrivé sur des astres comme la Lune ou sur Mars mais il est au moins divisé par deux grâce à l'écran que constitue la planète elle-même. En revanche, comme ni Mars ni la Lune n'ont de magnétosphère notable, il n'existe aucun autre bouclier naturel. La planète rouge a tout de même une atmosphère ténue, mais celle-ci constitue un écran environ 50 fois moins épais que l'atmosphère terrestre, tout juste équivalant à 20 cm d'eau.

En l'absence de protections naturelles aussi efficaces que sur Terre, les doses de radiations restent élevées. Construire des

bases aux parois assez épaisses pour arrêter ces radiations nécessiterait des quantités importantes de matériaux. La meilleure solution est donc de s'enterrer et d'utiliser les roches comme bouclier. Des scientifiques du National Research Laboratory de Washington (USA) ont évalué que pour ramener l'exposition à des niveaux encore deux à trois fois plus élevés que sur Terre, il faudra enterrer les bases permanentes à une profondeur de 3 m, et de plus de 10 m pour retrouver une dose comparable à celle reçue sur Terre. Une solution permettant difficilement d'apprécier le paysage...

Pour bien se protéger des radiations, sur Mars ou la Lune, une seule solution : construire des bases enterrées à plusieurs mètres de profondeur.



Le dossier chaud de l'irradiation aéronautique

Tout passager d'un avion de ligne est exposé aux radiations cosmiques. À des altitudes de 10 000 à 15 000 m, le niveau des doses d'irradiation est 100 à 300 fois plus élevé qu'au sol. Pour le personnel navigant aussi bien que pour des personnes voyageant fréquemment, la dose cumulée reçue en quelques centaines d'heures de vol peut alors dépasser la moyenne annuelle au sol. Cette situation est connue depuis plusieurs dizaines d'années. Aujourd'hui, elle fait l'objet d'un débat sur les risques réels encourus. Pour évaluer ceux-ci, une série d'études ont été menées sur des trajets aériens différents, à bord d'appareils de diverses compagnies. L'équipe de Jean-François Bottollier-Depois, du département de dosimétrie de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire de Fontenay-aux-Roses, a ainsi placé à bord des avions d'Air France un détecteur baptisé Nausicaa. Mis au point avec le Centre national d'études spatiales (Cnes), cet appareil mesure la dose reçue à l'échelle d'une cellule sous environ 1 cm de tissu biologique. Les résultats, en cours de publication dans la revue *Radiation Research*, donnent un aperçu détaillé des doses reçues à l'intérieur d'un avion. "Les routes les plus critiques sont bien sûr les parcours transcontinentaux polaires et à hautes latitudes, tel le Paris-Tokyo ($6,6 \mu\text{Sv/h}$), et les voyages à très haute altitude, comme ceux du Concorde ($9,2 \mu\text{Sv/h}$), résume J.-F. Bottollier-Depois. Pour le personnel aérien ayant une activité annuelle de 700 h de vol transcontinental ou de 300 h sur le Concorde, ceci correspond à une dose totale de 3 à 5 mSv." Ces mesures ont été réalisées de 1996 à 1998 en période de minimum solaire, équivalant à un maximum de radiations. Mais elles ne tiennent pas compte des éruptions solaires. Celle de 1956, rare mais violente, aurait été responsable à elle seule d'une irradiation de 10 mSv à 10 km d'altitude.

Le Concorde vole entre 15 000 et 18 000 m d'altitude. Depuis sa mise en service, il est équipé d'un compteur Geiger qui avertit l'équipage dès que les doses reçues dépassent le seuil de 0,2 mSv par heure.

Ces chiffres sont bien sûr à comparer aux nouvelles normes de la Commission internationale de la protection radiologique (CIPR). Elles fixent désormais les doses maximales admissibles à 1 mSv/an pour le public et à 100 mSv sur cinq ans pour les travailleurs exposés (jusqu'ici, ces maxima étaient respectivement de 5 mSv et de 50 mSv par an). Une directive européenne de 1996 a fixé au 13 mai 2000 la date limite d'application de ces nouvelles normes. Selon ces chiffres, le personnel navigant doit donc désormais être considéré comme exposé aux mêmes risques que les travailleurs du nucléaire ainsi que...

Un modèle pour connaître les risques sur n'importe quelle route du ciel

les passagers fréquents. "Nous avons eu le cas extrême d'un passager qui faisait 2 000 h par an !" indique J.-F. Bottollier-Depois. Jusqu'ici, les résultats de ces études ont été peu diffusés auprès du grand public. Mais la situation risque de devenir sensible puisque toute personne amenée par son activité à se déplacer souvent en avion est en droit de demander à son employeur indemnités et examens de santé réguliers.

En raison des grandes variations observées selon les routes aériennes et l'activité solaire, la directive européenne et la CIPR recommandent désormais la surveillance systématique de l'exposition aux radiations à bord des avions. Depuis son premier vol, le *Concorde* est déjà équipé d'un compteur Geiger-Muller qui lui permet de déclencher une alerte orange ou rouge selon que la dose dépasse 0,2 mSv ou 0,5 mSv par heure. L'avion doit alors réduire son altitude au plus vite. Des détecteurs du même type que le Nausicaa devraient être installés régulièrement dans les avions de ligne afin d'estimer les doses réelles reçues. "Un grand programme,

baptisé Sievert, est en projet entre des laboratoires de recherche et la Direction générale de l'aviation civile, précise J.-F. Bottollier-Depois. Il a pour objectif de modéliser le plus finement possible la répartition des radiations cosmiques selon l'altitude et la position sur le globe. Il devrait

permettre une évaluation réaliste sur n'importe quelle route." Les commandants de bord, en plus des prévisions nuageuses, seront alors en mesure de connaître avant leur vol la "météo" des radiations sur leur trajet. Pour l'instant, la CIPR a recommandé aux compagnies aériennes d'informer leurs passagers sur les risques encourus. Ce nouvel aspect de santé publique est désormais pris très au sérieux.



est de 500 à 900 mSv par an, soit pour la durée du voyage l'équivalent de la dose reçue sur Terre en... plus de quatre siècles. Comme la protection de la bulle solaire s'étend au-delà de Mars, cette exposition peut être réduite de 30 à 40 % si le voyage a lieu lors du maximum d'activité du Soleil.

Mais les doses restent très élevées. Le danger absolu s'appelle ici HZE, pour particules High Z High Energy. Dans le flux galactique qui traverse le Système solaire, les protons représentent 87 % des particules, mais ils ne sont responsables que de 7 % de l'irradiation. Les noyaux lourds

Alors quelle solution choisir lorsque des explorations planétaires humaines vont être envisagées ? Lors d'une mission vers Mars, il faudra rester en continu dans l'espace interplanétaire au moins deux à trois ans, cette fois-ci en dehors de la magnétosphère. Dans cet environnement, l'augmentation de l'effet des rayons cosmiques est en partie compensée par l'absence des ceintures de radiations mais la dose moyenne attendue

Les satellites vulnérables

(comme le fer), bien que 10 000 fois moins abondants, contribuent eux pour plus de 25 % à la dose totale. Tous les noyaux lourds sont caractérisés par un nombre Z important — en fait, le nombre de protons contenus dans le noyau. Plus il est élevé et plus l'énergie déposée est grande, plus les dégâts causés sont redoutables. La pénétration d'un de ces noyaux lourds galactiques dans la matière se traduit par une véritable tranche à l'échelle atomique.

Ces "obus" cosmiques rendent actuellement difficile la recherche de protections efficaces. Pour l'instant, ils enferment les ingénieurs dans une quadrature du cercle. Les parois habituelles des satellites sont aussi inefficaces qu'une feuille de papier, mais si on augmente leur épaisseur dans l'espoir de créer un écran, on peut aboutir à une... augmentation de l'irradiation. L'enveloppe atténue effectivement le flux primaire de particules galactiques mais elle constitue aussi une cible que les particules viennent percuter, bousculant ainsi d'autres noyaux qui produisent des particules supplémentaires. Derrière un écran d'aluminium de 15 mm, la dose est ainsi augmentée de 10 % !

Dans l'espace, une épaisseur minimale de 30 cm d'un métal léger comme l'aluminium est nécessaire pour diminuer de moitié la dose reçue. Un vaisseau spatial d'un volume habitable comparable à celui d'une station orbitale serait alors revêtu d'un blindage dont le poids dépasserait 240 tonnes ! Un chiffre astronomique dans un domaine où chaque kilogramme embarqué vaut de l'or. Les agences spatiales essaient donc de réduire cette note prohibitive, donc de diminuer les poids. La Nasa a étudié des blindages actifs à base d'aimants supraconducteurs mais leur efficacité n'a pas été

Les satellites, bourrés de composants électroniques, ne sont pas protégés par l'atmosphère. Très sensibles à l'irradiation cosmique, ils peuvent subir des pannes à répétition.

L'irradiation cosmique peut induire des pannes dans les satellites évoluant pendant des années hors de la protection atmosphérique. De plus, la miniaturisation croissante des circuits électroniques les rend de plus en plus sensibles. Résultat : les ingénieurs sont obligés de prendre en compte dès la conception des véhicules spatiaux la contrainte due aux radiations. Depuis le début des années 1970, les incidents liés aux particules cosmiques sont bien connus. La sonde Pioneer 10, par

exemple, a été perturbée par les radiations autour de Jupiter. Un des instruments mesurant le plasma jovien a eu un

fonctionnement anormal, du fait d'un composant électronique particulièrement sensible aux radiations. Cela n'a cependant pas empêché cette sonde de fonctionner pendant 25 ans, jusqu'au 31 mars 1997. Plus récemment, le satellite X Chandra, placé sur orbite le 22 juillet 1999, a vu la sensibilité de ses caméras CCD diminuer sensiblement en quelques jours par l'impact des protons des ceintures de Van Allen, dont les effets avaient été sous-estimés. Soho, quant à lui, observe le Soleil en continu à 1,5 million de kilomètres de la Terre. Hors de la magnétosphère terrestre, il subit de plein fouet le bombardement du rayonnement cosmique galactique et des éruptions solaires, comme celles du 5 février dernier ou du 6 novembre 1997. Durant de tels événements, les données scientifiques sont fortement perturbées et les systèmes électroniques soumis à rude épreuve. Ces derniers ont d'ailleurs subi un traitement spécial pour les rendre moins sensibles aux radiations. S'ils étaient conçus comme nos ordinateurs de bureau, leur durée de vie n'excéderait pas quelques jours.

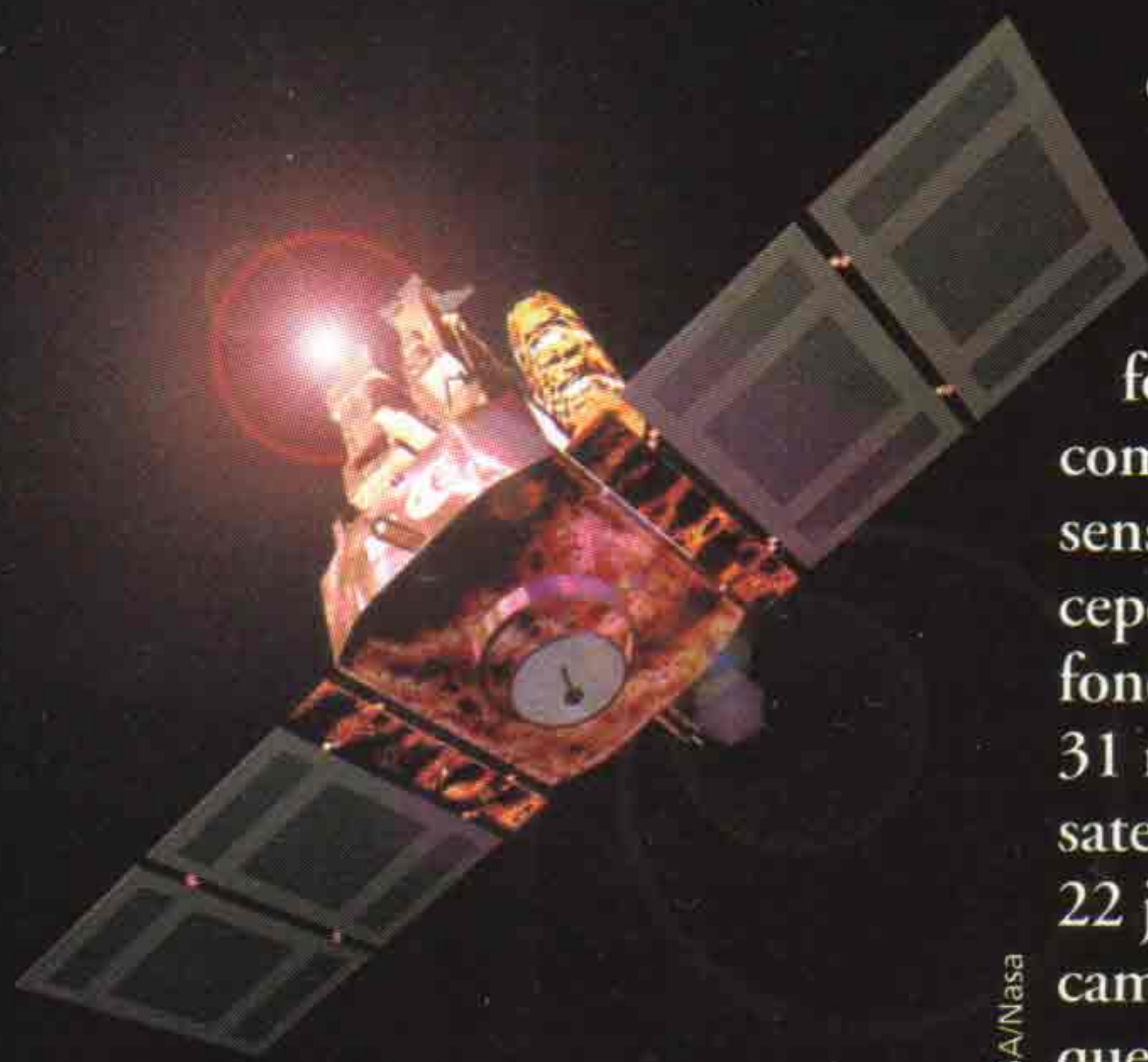
démontrée, et ils constituent des systèmes complexes dont la fiabilité est incertaine. Comme l'efficacité d'un blindage augmente avec la légèreté du matériau, le composant idéal apparaît l'hydrogène liquide, quatre fois plus efficace que l'aluminium et dix fois plus que le plomb. Or l'hydrogène est aussi un combustible. La meilleure solution semble donc être un vaisseau où l'espace habitable serait entouré par les réservoirs de carburants et d'eau jouant le rôle d'écran passif.

Une fois dans l'espace interplanétaire, les équipages auront à faire face à un nouveau danger : les colères du Soleil. Bien que les éruptions majeures capables de mettre en péril la vie humaine soient rares, leur probabilité sur plusieurs dizaines de mois n'est pas négligeable. Comme leur durée dépasse rarement un à deux jours, peut-être faudra-t-il alors conce-

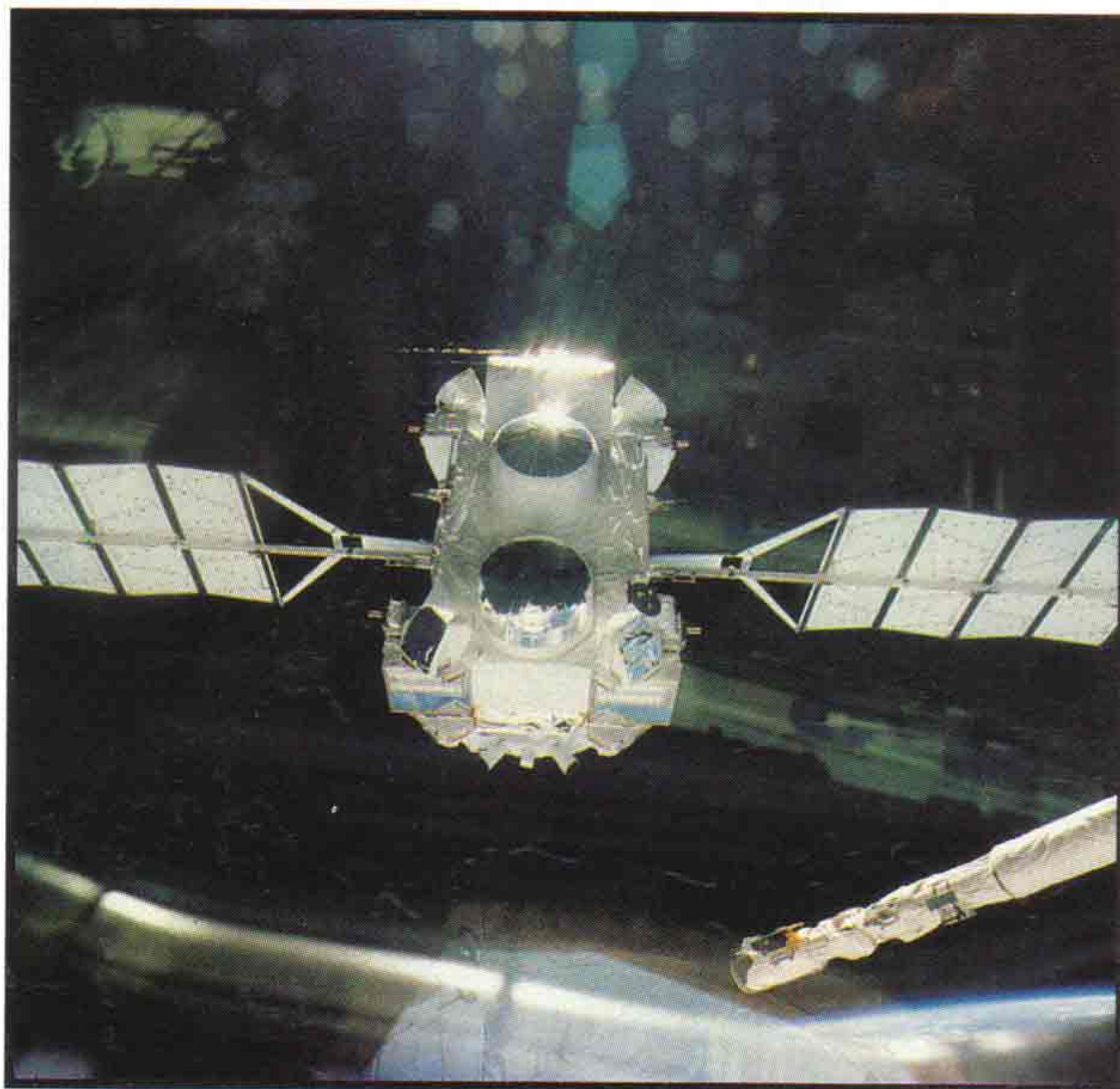
voir à bord un caisson de survie, espace réduit encore plus fortement blindé dans lequel l'équipage ira se réfugier à l'annonce de la tempête de radiations.

Cette perspective peu réjouissante nous laisse mieux goûter la situation privilégiée que nous vivons sur Terre. Il est amplement prouvé que l'exposition d'organismes vivants aux radiations intenses entraîne de profonds changements génétiques. Notre planète jouit d'une protection renforcée. C'est grâce à elle probablement qu'ont pu s'y développer des formes de vie stables. Mais en a-t-il toujours été ainsi ? Une simple variation dans l'activité solaire, l'intensité des éruptions ou les changements attestés dans l'intensité du champ magnétique terrestre ont pu dans le passé aboutir à des périodes de forte irradiation, sans commune mesure avec ce que nous connaissons aujourd'hui. De tels épisodes ont-ils favorisé la mutation des espèces ? Est-ce là une des clés cachées de l'évolution ? Dans ce cas, par l'intermédiaire du rayonnement cosmique, la vie devrait aux étoiles non seulement son existence même, mais aussi sa diversité. ■

(1) C'est-à-dire assez énergétiques pour pénétrer la matière et détruire la structure des atomes en leur arrachant des électrons.



ESA/Nasa



Nasa