

# LA VIE DANS L'ESPACE: RISQUES ET CONSEQUENCES

Si atteindre l'espace est une contrainte majeure pour l'homme; aujourd'hui, les problèmes de conditions de vie et d'adaptation de l'homme dans l'espace posent des problèmes encore plus importants, et il semblerait que les longs voyages dans l'espace seraient limités non pas par la technique ou les engins utilisés, mais par l'homme lui-même. L'homme n'a pas séjourné plus de 14 mois dans l'espace, ce record étant détenu par le cosmonaute soviétique Valeri Poliakov à bord de la station spatiale Mir. Quelles sont donc les contraintes pour l'homme lors de longues périodes de vie dans l'espace, et ses effets ?

Nous pouvons distinguer 3 contraintes fondamentalement différentes, et ses effets sont très divers: il s'agit de l'état de surpesanteur (lors du décollage ou la rentrée dans l'atmosphère), de l'état d'apesanteur (pas ou très peu de gravité) puis du rayonnement ionisant qui est beaucoup plus intense dans l'espace que dans la terre. Finalement, nous aborderons un sujet qui est de moins en moins mis à l'écart, et qui a une très grande importance dans les missions de longue durée: les facteurs humains; soit les problèmes de comportement et psychologiques.

## 1°) L'ETAT DE SURPESANTEUR

Cette contrainte n'est pas très importante puisque ses effets sont très bien supportés par l'homme et les études faites à ce sujet ont pu être menées sans problème, d'autant plus que ces conditions de surpesanteur ne durent que quelques minutes.

Pour envoyer un vaisseau dans l'espace, il faut atteindre la vitesse de libération, soit l'équivalent d'une accélération de 4,6 g pendant 4 minutes au décollage, et des décélérations de 6 à 7 g pendant 3 à 4 minutes pour le retour. Dans ces conditions on peut admettre que l'individu qui est dans le vaisseau pèse jusqu'à sept fois plus que dans la terre, c'est l'état de surpesanteur.

En position verticale, les effets de telles accélérations-décélérations entraînent le déplacement des liquides dans l'organisme:

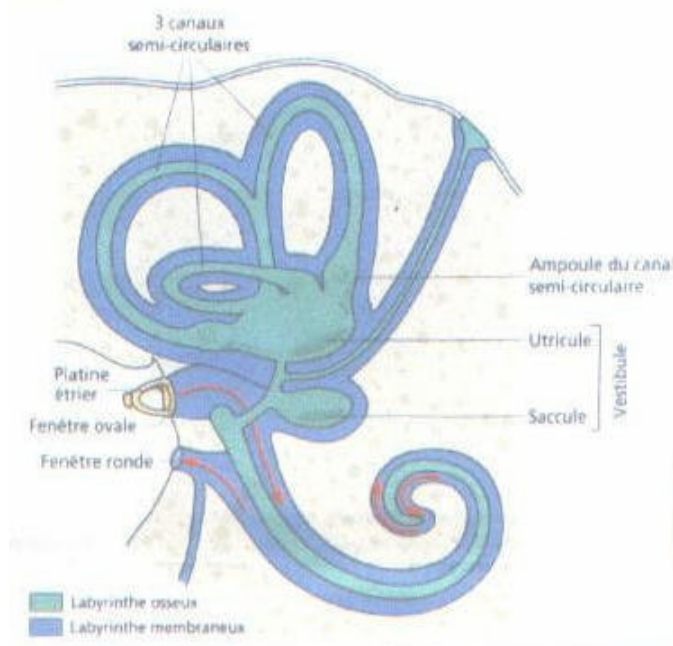
- Soit vers le bas du corps; dans ce cas, l'absence de circulation sanguine dans le cerveau entraîne un voile gris, des troubles de conscience, perte de connaissance.
- Soit vers le haut du corps; dans ce cas cela aboutit à une turgescence des muqueuses, maux de tête, voile rouge, perte de connaissance, hémorragies (éclatement de vaisseaux sanguins à cause de la pression).

Pour pouvoir réduire (même faire disparaître) ces effets, les accélérations sont subies selon l'axe ventre dos aussi bien au départ qu'au retour (les astronautes regardent le zénith). De plus, des centrifugeuses au sol permettent de simuler ces conditions, de tester les cosmonautes et de les préparer ainsi à subir de telles contraintes.

## **2°) L'ETAT D'APESANTEUR ET SES EFFETS**

### **1-LE MAL DE L'ESPACE ET LES MODIFICATIONS DES SENSATIONS.**

L'élément le plus important à prendre en compte lors d'un vol spatial n'est autre que l'apesanteur. L'absence de pesanteur a d'abord un effet important sur le sens de l'équilibre. C'est l'oreille interne, grâce aux otolithes, (de petites particules de calcium qui se déplacent librement sous l'effet de la gravité et dont la position est connue par l'interaction avec des cils) et aux canaux semi-circulaires, qui nous permet de positionner le haut et le bas et de ressentir les mouvements de notre corps. En apesanteur, l'oreille interne ne fonctionne plus correctement. Les signaux qui proviennent des yeux et des canaux semi-circulaires indiquent au cerveau que la tête vient de tourner. Mais les otolithes ne donnent pas confirmation, car leur action dépend de la gravité. D'autre part, les corpuscules de Paccini (récepteurs de pression au niveau de la peau et notamment dans la plante des pieds) ne sont plus stimulés donc ils ne peuvent pas nous indiquer le haut ou le bas, on a l'impression d'avoir la tête en haut puis c'est le contraire. Les astronautes ressentent alors différents symptômes : cela va du mal de tête au vomissement avec nausées, en passant par une étrange et désagréable sensation de désorientation. C'est le fameux mal de l'espace (SMS ou Space Motion Sickness). Ainsi, pendant les toutes premières heures de la mission, les astronautes peuvent très bien ne pas être à même de réaliser certaines tâches qui demandent de la concentration et une bonne forme physique.



-Dans l'oreille interne, 2 types de récepteurs interviennent:

- 1-les canaux semicirculaires remplis de liquide, ce sont des tubes en forme d'anneaux n nombre de trois disposés dans les trois directions spatiales. Ils enregistrent les accélérations linéaires et angulaires du corps.
- 2-Les otolithes: petits cristaux de carbonate de calcium qui se trouvent dans l'utricule et la saccule qui se déplace sur une substance et informent les cellules ciliées d'une modification de position du corps.

Le mal de l'espace est en général temporaire et l'homme s'adapte plus ou moins rapidement à son nouvel environnement (les symptômes commencent par s'intensifier au bout de quelques heures pour disparaître généralement en deux jours). De plus, au bout de plusieurs vols de longue durée, le mal de l'espace a tendance à diminuer d'intensité. Mais il existe des cas où il réapparaît pendant une mission de longue durée. Enfin, le mal de l'espace ne semble toucher que la moitié environ des astronautes. Il est important de noter ici qu'il existe une grande variabilité dans la tolérance d'un individu aux conditions régnant dans l'espace.

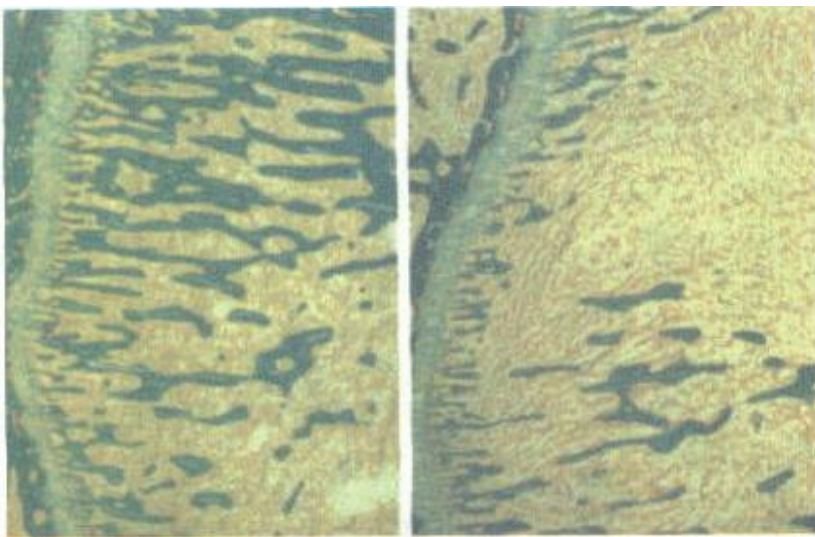
La perception du goût est également modifiée, ce qui explique que les repas soient très épicés.

Lors du retour sur Terre, les astronautes ont du mal à maintenir une posture correcte, surtout avec les yeux fermés. Les effets semblent être proportionnels à la durée de la mission. Dans les cas les plus graves, les astronautes ressentent des vertiges lorsqu'ils tournent sur eux mêmes ou pendant des mouvements rapides de la tête. Certains vomissent même dès qu'ils bougent un peu trop la tête. Ces effets sont assez inquiétants. Que va-t-il se passer lorsque les astronautes vont débarquer à la surface de Mars et retrouver une certaine gravité, après un an en apesanteur ? Il se pourrait bien que pendant quelques jours, les premiers martiens ne puissent rien faire d'autre que rester couché, en attendant que cessent les désagréables symptômes d'une réacclimatation à la gravité. Pour eux, il serait bien trop dangereux de conduire un rover ou de manier du matériel fragile et sensible. Combien de temps faudra-t-il attendre avant qu'ils ne puissent travailler efficacement ? Quels sont les mesures qui permettraient de lutter contre ce problème ?

## 2- FRAGILISATION DES OS

L'un des effets les plus graves de l'apesanteur concerne les os. Sous gravité zéro, la colonne vertébrale grandit (les astronautes gagnent quelques centimètres). Le calcium et certains sels minéraux (phosphore) quittent les os (ostéoporose) et ceux-ci se fragilisent considérablement (surtout les os qui portent le poids du corps). En effet, l'os est un tissu vivant en perpétuel remaniement (il se construit grâce à des cellules; les ostéoblastes et se détruit grâce aux ostéoplastes) sous l'effet des contraintes qu'il subit. Ainsi sur Terre, les os sont entièrement renouvelés tous les 5 ans en moyenne. Or sans contraintes, c'est l'action des ostéoplastes qui domine; l'os est donc petit à petit détruit, dissout. Par exemple, la quantité de calcium présente dans l'urine des astronautes qui ont participé à la mission Skylab avait augmenté de 60 à 100 %, ce qui représentait une perte moyenne de presque 0,5 % par mois. Les niveaux

élevés d'acide urique, de calcium, de phosphore et de potassium dans l'urine peuvent aussi conduire à l'apparition de calculs rénaux. Extrêmement douloureux, ils peuvent rapidement devenir incapacitants. Dans les cas les plus graves, ils aboutissent à un blocage de l'urètre, ce qui nécessite alors une intervention chirurgicale. Pendant un vol spatial, un problème de ce genre pourrait compromettre la mission, d'où l'importance d'avoir à bord un astronaute ayant des compétences en chirurgie et possédant le matériel approprié. Une nourriture riche en calcium, des exercices physiques quotidiens intenses et réguliers, ou le port de pantalons spéciaux (pantalons pingouins) faisant travailler tous les muscles permettent de lutter contre cette décalcification des os, mais ne l'empêchent pas.



Coupe transversale d'os osteoporique à gauche, et normal à droite,

### 3- ATROPHIE MUSCULAIRE

Sur Terre, les muscles maintiennent leur fonction, leur masse et leur force en s'opposant en permanence à la gravité terrestre. En apesanteur, certains muscles ne servent plus à rien (n'ayant plus rien à supporter), et commencent à s'atrophier. L'atrophie musculaire réduit l'habileté, la force, la locomotion et le maintien d'une posture correcte. C'est également la source de douleurs musculaires et ligamentaires. Les effets peuvent persister plusieurs semaines ou même quelques mois après le retour sur Terre. Des exercices physiques (tapis de courses, vélo, appareils de musculation) intenses et quotidiens permettent de lutter contre l'atrophie musculaire, sans cependant la stopper complètement. Le principal problème avec l'atrophie musculaire concerne le retour sur Terre. On observe une incapacité des astronautes à rester dans la position debout. Les muscles des jambes, qui normalement contribuent à la circulation du flux sanguin vers la tête, n'ont plus assez de force pour jouer leur rôle. C'est pourquoi les cosmonautes de la station Mir qui rentrent sur Terre sont transportés dans une position assise dès qu'ils sortent de leur Soyouz. Ils ne pourraient pas supporter d'être debout (intolérance orthostatique).

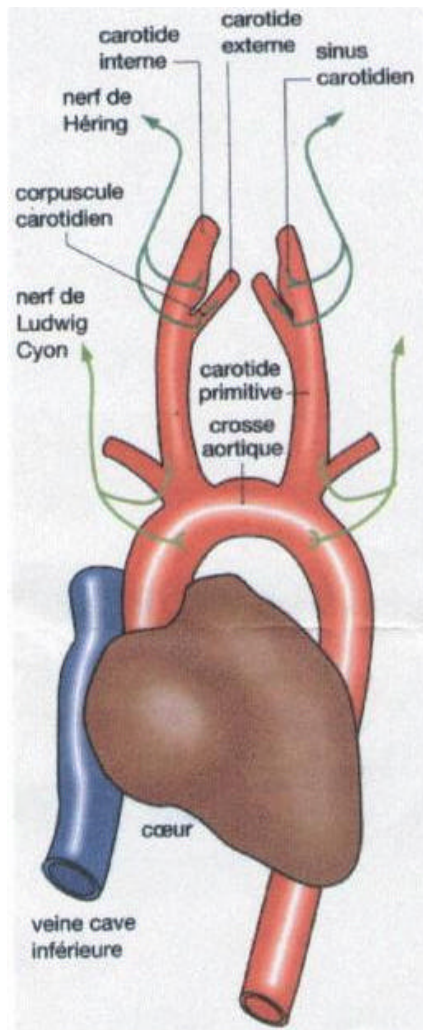
Une fois sur Mars, les astronautes retrouveront certes une gravité, mais elle sera bien plus faible que la gravité terrestre. La gravité martienne ne vaut qu'un tiers de la gravité terrestre, et un homme de 60 kg ne pèse plus que 19 kg sur Mars, le poids d'un enfant qui possède néanmoins la force physique d'un adulte. On pourrait penser que cette baisse de la gravité est plutôt un avantage. Mais il ne faut pas oublier qu'à moins que le vaisseau ne soit équipé d'un système de pesanteur artificiel, les astronautes viennent de passer de nombreux mois sous pesanteur zéro. Et le retour à une gravité, même aussi faible que la gravité martienne, sera très dur ! Ce sera malheureusement le moment où l'activité physique sera particulièrement intense, car il s'agira d'assembler la future base martienne. Le moindre mouvement demandera un effort de volonté et la fragilité des os pourra causer des fractures mal venues.

#### 4- ACTION SUR LE SYSTEME CARDIO VASCULAIRE ET DIMINUTION DU NOMBRE DE GLOBULES ROUGES

Sur Terre, la gravité force le sang à s'accumuler dans la partie inférieure du corps. Les battements du cœur, la contraction de certains muscles des jambes et les valvules situées au niveau des veines contrarient ce phénomène. En apesanteur, ces mécanismes disparaissent, et on observe alors une redistribution de la masse sanguine. Une importante quantité de sang ( 1,5 à 2 litres) quitte les membres inférieurs pour s'accumuler au niveau de la partie supérieure du corps (région céphalique, thoracique et cervicale). Les astronautes ont l'impression d'avoir des jambes de poulet alors que l'afflux brusque de sang au niveau de la tête se traduit par une sensation de bien être. L'organisme humain va interpréter cette irrigation importante de la partie supérieure du corps comme une augmentation du volume sanguin. Effectivement, les oreillettes du cœur, qui comportent des capteurs sensibles au changement de volume (des volorécepteurs), vont se dilater. Les volorécepteurs, excités par la dilatation des oreillettes, vont diminuer en retour la sécrétion de l'hormone antidiurétique (ADH) par l'hypophyse. Il y aura alors une élimination urinaire massive (fuite d'eau et de sels minéraux) et une diminution de la sensation de soif. L'état d'apesanteur ne modifie pas de manière critique le rythme cardiaque et la tension artérielle, et la perte de liquide dont nous venons de parler constitue l'une des adaptations à la microgravité, mais l'appareil cardio-vasculaire fonctionne quand même dans des conditions anormales pendant le vol spatial.

Une fois revenu sur Terre, certains effets se font ressentir, même si l'appareil cardio-vasculaire finira par retrouver des conditions normales de fonctionnement. Le cœur bat plus vite, pour compenser la diminution de volume sanguin. Le sang s'accumule de nouveau dans la partie inférieure du corps et quitte le cerveau, ce qui conduit à des faiblesses et même des évanouissements dans la position debout (instabilité orthostatique). De nouveau, il faudra répondre à certaines questions : l'intolérance orthostatique posera-t-elle un problème une fois sur Mars, dans les premiers temps de la mission ? Des combinaisons anti-G (identiques à celles utilisées par les pilotes de chasse pour empêcher le sang de quitter la tête pendant les manœuvres à haut facteur de charge) seront-elles

nécessaires ? Le système cardio-vasculaire retrouvera-t-il une activité normale lors du retour sur Terre, après un voyage de 2 à 3 ans ?



Dans ce circuit nerveux (schéma ci-contre), des récepteurs de pression (barorécepteurs) sont situés dans la crosse aortique et dans les sinus carotidiens. Ils informent en permanence le système nerveux des valeurs des tensions; celui-ci prend alors les mesures qui s'imposent en agissant sur le rythme cardiaque et la puissance de contraction et en modifiant le calibre de certains vaisseaux.

La diminution du volume sanguin en apesanteur est également accompagnée par une diminution du nombre de globules rouges, une sorte d'anémie spatiale (10 à 15 % de globules rouges en moins et même plus suivant la durée de la mission). En effet, le sang appauvri en liquide (en raison de l'excrétion urinaire) va se concentrer momentanément en hématie. Il est donc visqueux, épais, entraînant des risques de thrombose; heureusement l'organisme va réagir au bout de quelques semaines et produire moins de globules rouges. Après le retour sur Terre, il faut de 6 à 8 semaines pour retrouver une situation normale. Ce type d'anémie ne compromet pas la santé ou les performances d'un équipage. Mais

associée à une diminution du volume sanguin, cette situation présente des risques dans le cas de blessures ou d'hémorragie pendant le vol. Le vaisseau spatial devra comporter des réserves de sang et l'équipage devra être capable de réaliser des transfusions sanguines. L'étude d'un substitut sanguin pour pallier à des pertes importantes pourrait aussi être nécessaire.

## 5- L'AFFAIBLISSEMENT DU SYSTEME IMMUNITAIRE

Les globules blancs, responsables de la défense de l'organisme, sont également touchés lors d'un vol spatial. Le système immunitaire voit effectivement une diminution très nette du nombre et des fonctions (réactivité, prolifération dans le cas d'une attaque) des lymphocytes T, une variété de globules blancs impliqués dans l'immunité à médiation cellulaire. Ce phénomène devient préoccupant s'il y a le moindre risque d'infections. En apesanteur, les bactéries, les virus ou les champignons microscopiques flottent bien plus longtemps dans l'air que dans un environnement soumis à une gravité (artificielle ou non). Des filtres devront être utilisés autant que possible pour purifier l'air. Pour l'instant, aucune infection aggravée par une baisse des capacités du système immunitaire ne s'est produite en vol. Mais le risque existe. La sensibilité à des infections pendant le voyage vers Mars et les risques encourus lors du retour sur Terre ne sont pas à prendre à la légère. Notons que là aussi, la situation est réversible une fois revenu sur Terre et le système immunitaire retrouve son état normal.

## 6- QUELQUES ETUDES RECENTES SUR LE SYSTEME RESPIRATOIRE

L'étude des effets de l'apesanteur sur le système respiratoire constituait l'un des thèmes abordé lors de l'expérience Neurolab emporté par la navette spatiale américaine Columbia en avril 1998. Sur Terre, lors d'une inspiration, le volume qui pénètre dans la partie supérieure du poumon est deux fois plus élevé que celui qui pénètre dans la partie inférieure. En apesanteur, on n'observe rien de tel, et la respiration est homogène. C'est la même chose pour la quantité de sang capillaire qui irrigue les poumons. Le volume pulmonaire (en rapport avec la concentration des gaz présents dans le sang) diminue, le mécanisme respiratoire faisant intervenir de manière plus importante l'abdomen.

## 7- UNE SOLUTION A TOUS CES PROBLEMES: LA GRAVITE ARTIFICIELLE?

La seule manière connue de rétablir un semblant de gravité dans un vaisseau spatial est de le maintenir en rotation autour d'un axe. Cette idée a été émise (comme beaucoup d'autres) par Tsiolkovski, le pionnier russe de l'aéronautique.

Il est clair que l'établissement d'une gravité artificielle combiné à la pratique d'exercice physique permettra de combattre les principaux inconvénients d'un vol de longue durée dans l'espace. Elle ne devra pas forcément être égale à la gravité terrestre. Pendant la dernière partie d'un voyage vers Mars, elle pourra être progressivement amenée à 1/3 de la gravité terrestre, pour simuler les conditions à la surface de la planète. L'adaptation à l'environnement martien sera alors facilitée. La gravité jouera aussi un rôle en plaquant les particules qui flottent dans l'air (en particulier les germes microbiens).

Cependant, sa mise en œuvre n'éliminera pas certains problèmes psychologiques et physiologiques. Le danger des radiations sera toujours présent. Les forces de Coriolis qui apparaîtront dans le vaisseau en rotation pourront causer des désorientations, par action sur le système vestibulaire dont nous avons déjà parlé. Si un membre d'équipage marche latéralement à la rotation, deux forces s'appliqueront à son corps, ce qui amplifiera le problème. Il faudra apprendre à vivre dans un milieu en perpétuelle rotation et savoir se déplacer avec, contre ou perpendiculairement à la rotation, sans compter le problème du passage entre des régions mobiles et des régions fixes ! Il semble cependant que plus les parties mobiles sont loin de l'axe autour duquel elles tournent, plus les problèmes diminuent d'importance. Mais dans ce domaine, de nombreuses expérimentations restent à faire. Il faudra par exemple déterminer très précisément les caractéristiques de la gravité artificielle (niveau de gravité, période de rotation, durée dans le temps).

### **3°) LES RADIATIONS**

Dans l'espace, les astronautes pourraient être exposés à des rayonnements particulièrement dangereux. Les risques de cette exposition sont nombreux : mutations, cancers, diminution de la durée de la vie, cataracte. Pour la suite de la discussion, nous exprimerons les doses de radiation en utilisant le REM, une unité couramment utilisée aux Etats-Unis. En Europe, nous utilisons plutôt le Sievert, 1 Sievert étant égal à 100 rems.

Dans la navette spatiale ou dans la future station spatiale internationale, l'équipage est soumis à un rayonnement de 30 millirems par jour (l'équivalent de deux radiographies de la poitrine par jour). Par comparaison, une personne vivant dans une région au niveau de la mer reçoit seulement 100 à 150 millirems par an (soit 1% du rayonnement en orbite). La dose approche les 200 à 300 millirems pour une personne vivant en altitude, dans une région montagneuse par exemple. Le rayonnement que l'on reçoit de manière naturelle sur Terre provient de la radioactivité des roches et des particules secondaires issues de l'interaction du rayonnement cosmique avec la matière. Notez ici que ce rayonnement naturel joue un rôle bénéfique en stimulant les mécanismes de



réparation dont le corps dispose pour lutter contre les effets destructeurs des radiations.

A partir de quelle dose les effets dangereux commencent-ils à apparaître ? Une personne soumise à 75 rems ne présente pas de troubles de santé. Entre 75 et 200 rems, certaines personnes commenceront à présenter des symptômes (vomissements, perte d'appétit, fatigue), alors que d'autres continueront à bien se porter (il existe effectivement une large plage de tolérance entre les individus). Si la dose dépasse les 300 rems, plus aucune personne n'échappe aux symptômes. La mortalité apparaît également à ce niveau. 50 % des personnes meurent à 450 rems, 80 % à 600 rems. Une dose de 1000 rems est toujours létale. Ces effets sont ceux que l'on peut observer lorsqu'un individu est exposé brièvement à une forte dose de radiations. A part les cas extrêmes, il est possible pour un individu de se récupérer après quelques semaines ou quelques mois, le temps pour les systèmes de réparation d'intervenir. Mais il faut prendre en compte un autre risque : celui de développer dans les années qui suivent un cancer. Les particules énergétiques peuvent effectivement toucher l'ADN et réveiller un oncogène, qui conduira à un cancer. Pour une dose de 100 rems, on estime en général que le risque de développer un cancer fatal dans les 30 ans est de 1,8 %.

Les organes les plus sensibles aux radiations sont le système lymphatique, les gonades et la moelle osseuse, suivi des poumons, de la peau, des yeux, des reins et du foie. Le système nerveux central, les os et les muscles sont peu sensibles. Le risque de développer un cancer est un peu plus grand pour les femmes, à cause du cancer du sein.

En moyenne, un voyage vers Mars de 2 à 3 ans soumettrait l'équipage à un rayonnement de 50 rems, augmentant ainsi la probabilité de mourir d'un cancer d'un petit %. A la surface de Mars, la dose sera de 9 rems par an (6 rems par an pour les habitations enfouies sous le régolite martien), soit une moyenne de 7,5 rems.

Les rayonnements du milieu interstellaire peuvent être de nature corpusculaire (électrons, protons, noyaux lourds) ou photonique (rayons gamma, X, ultraviolet, infrarouge, visible ou radio). Les trois principales sources de radiations sont les ceintures de Van Allen qui entourent la Terre, les particules émises par le Soleil (vent et éruptions solaires) et les particules des rayons cosmiques.

La Terre est entourée de deux champs magnétiques circulaires (les ceintures de Van Allen) qui offrent un avantage et un inconvénient. D'un côté, les deux ceintures stoppent une bonne partie du rayonnement qui baigne le milieu interplanétaire. D'un autre côté, elles sont radioactives et l'homme sera très certainement obligé de les traverser pour partir vers Mars. La ceinture interne est riche en protons (les particules les plus énergétiques se rencontrent entre 3000 à 4000 km d'altitude), alors que la ceinture extérieure héberge plutôt des électrons (les particules les plus énergétiques se rencontrent à 20 000 km d'altitude). Les

ceintures de Van Allen ne posent pas de problèmes pour les vols qui se déroulent à une altitude inférieure à 500 km. Par contre, leur traversée dans le cas d'un voyage vers Mars devra se faire rapidement, pour éviter que les astronautes ne soient exposés à des doses massives de rayonnements ionisants. Une solution élégante consisterait à quitter la Terre depuis les pôles, mais le bilan énergétique de la mission serait sans aucun doute trop important pour que cette option soit retenue.

Le Soleil émet en permanence dans l'espace un flux de particules (le vent solaire) qui doivent être prises en compte. Mais le principal danger provient des éruptions solaires, des phénomènes très brefs qui ne durent en général que quelques heures et qui se produisent à la surface du Soleil, lors de sursauts d'activités. Les éruptions solaires libèrent une quantité de particules très énergétiques (de 40 à 500 méga-électron volts), en particulier des protons, qui peuvent tuer un équipage très rapidement. Une éruption solaire peut en effet délivrer plusieurs centaines de rems dans un intervalle de quelques heures. Il est donc impératif de détecter très rapidement ce type d'évènement. La distance importante qui va séparer le vaisseau spatial de la Terre et le délai des communications ne permettront pas au contrôle de mission de donner l'alerte à temps (dans le pire des cas, il faut donner l'alerte en 30 minutes !). Le vaisseau devra être équipé d'un télescope X pour observer le Soleil. Une éruption solaire pourrait cependant très bien se déclencher dans une région inobservable par l'équipage du vaisseau. La mise en place de satellites d'observation autour du Soleil, dont les résultats seraient communiqués en temps réel au vaisseau, sera sans doute indispensable.

Le rayonnement cosmique comprend surtout des protons énergétiques et des atomes très lourds (des métaux comme le fer ou le nickel, des actinides). Ces particules très lourdes et très énergétiques (plusieurs gigaélectron-volts) sont les plus dangereuses. Contrairement aux éruptions solaires, le rayonnement cosmique est constant. L'équipage est ainsi exposé à des doses très petites, mais de manière continue pendant toute la durée du vol (20 à 50 rems par an, soit 35 rems en moyenne). La dose reçue dépend en fait de l'activité solaire. Lorsque celle-ci est à son minimum, le rayonnement cosmique est plus important (effectivement, l'activité magnétique du Soleil protège le système solaire contre les rayons cosmiques de l'espace interstellaire). Une des manifestations les plus spectaculaires du bombardement par les rayons cosmiques est le phénomène de flash lumineux, observé pour la première fois par Aldrin lors de la mission Apollo 11. Lorsque des particules frappent leur rétine, les astronautes voient des éclairs lumineux, même les yeux fermés. Aldrin a ainsi noté un éclair par minute.

Pour protéger l'équipage contre des doses de radiations excessives, il faudra équiper le vaisseau de blindage, la mince coque métallique extérieure étant bien insuffisante. Cette coque protège quand même l'équipage contre les impacts de micrométéorites. Les particules micrométéoritiques se déplacent à très grande vitesse (de 10 km/s à 270 km/s), mais heureusement, leur masse est en générale très faible (de l'ordre du picogramme), ce qui empêche la perforation de

la paroi extérieure du vaisseau lors d'un choc. Le risque de rencontrer un corps possédant une masse et une vitesse suffisante pour percer la coque, même s'il n'est pas nul, peut être considéré comme négligeable.

Le blindage représentera un supplément important en poids et sera donc très coûteux. Il aura intérêt à être à la fois efficace et léger. En plus du blindage léger, les réservoirs d'eau ou de carburants offriront une protection supplémentaire. L'équipage pourrait également se relayer pour aller dormir à tour de rôle derrière les boucliers, pour une protection accrue.

Un blindage de quelques centimètres d'épaisseur pourra arrêter une bonne partie des particules issues des éruptions solaires. C'est une autre paire de manche pour arrêter les rayons cosmiques, qui sont beaucoup plus énergétiques. Pour stopper les particules cosmiques, il faut employer des boucliers épais de plusieurs mètres. C'est une solution impossible à mettre en œuvre dans notre cas, pour un simple problème de poids et de coût. De plus, même avec l'aide de boucliers, des particules secondaires sont émises au contact de la surface protectrice, ce qui diminue de beaucoup l'efficacité de celle-ci.

Une fois sur Mars, la situation s'améliore un peu. La masse de la planète offre déjà une certaine protection, en éliminant la moitié des particules du rayonnement cosmique. L'atmosphère martienne offre aussi une bonne protection contre les éruptions solaires. Enfin, l'enfouissement de la future base martienne sous d'épaisses couches de régolite assurera une protection efficace contre les particules énergétiques du rayonnement cosmique. Pour les sorties extra véhiculaires, les astronautes devront emporter des dosimètres.

#### **4°) LES FACTEURS HUMAINS**

Un environnement sans changement, pauvre en stimulus, conduit à court terme à l'ennui et à toutes sortes de manifestations qui comptent parmi les plus destructrices qui soit pour la cohésion et l'intégrité d'un équipage. La monotonie entraîne dans un premier temps des problèmes de mémoire et de concentration. L'isolement dans un milieu clos a ensuite des effets plus graves au delà de 30 jours, comme l'on montré de multiples études dans le domaine du spatial ou dans des environnements bien particuliers (bases en Antarctique, sous marins) :

- Baisse d'énergie et diminution des capacités intellectuelles.
- Baisse de la productivité et des compétences.
- Augmentation de l'hostilité envers les collègues et les supérieurs, irritabilité.
- Fatigue, anxiété, repli sur soi, état dépressif, diminution de l'efficacité des communications.

- Comportements impulsifs, réactions psychophysiologique et psychosomatique.

Une fois l'enthousiasme du départ passé, la monotonie va s'installer avec son cortège de difficultés et de frictions. La vie à bord d'un vaisseau spatial à destination de Mars ne sera pas vraiment une partie de plaisir : confinement, absence d'intimité, risque permanent de dangers, isolation sociale, obligation de supporter les systèmes de survie (régénération de l'eau à partir des urines par exemple), mauvaise adéquation des plages de travail et de repos, sommeil perturbé ou pénible, état d'apesanteur (ou conditions désorientantes d'un environnement en perpétuelle rotation si le voyage s'effectue en pesanteur artificielle). L'isolation peut même conduire à des états très dangereux comme des comportements déviants, des excès de violence ou pire. Des procédures devront être mises en place pour faire face à ces problèmes typiquement humains. Le voyage vers la planète rouge pose aussi une inconnue de taille. L'homme, pour l'instant, ne s'est pas éloigné de plus de 380 000 km de la Terre lors des missions vers la Lune. Pour atteindre Mars, il faudra aller mille fois plus loin. Qui sait ce qui peut se passer lorsque la Terre ne sera plus qu'un petit point lumineux (personne, car c'est une situation impossible à recréer sur Terre) ? L'effacement progressif du globe bleu de notre planète marquera l'instant fatidique ou l'équipage se sentira véritablement livré à lui-même.

Les Russes ont particulièrement bien étudié les problèmes psychologiques d'un vol spatial. Depuis le centre de contrôle des missions à Moscou (FCC ou Flight Control Center), un groupe de support psychologique communique avec les cosmonautes et surveille leurs différents comportements au cours d'un vol en orbite. Ce groupe a bien entendu pour mission de remonter le moral des membres d'équipages par différents moyens (mise en place de liaison vidéo avec la famille ou des amis restés sur Terre) et de prodiguer différents conseils, mais son rôle majeur est de détecter les désordres émotionnels et les conflits qui peuvent prendre naissance à tout moment, en surveillant presque en permanence l'équipage. Le problème, c'est que cette surveillance elle-même est source de stress ! Les cosmonautes s'inquiétaient dès les premiers signes de l'apparition d'un conflit. Ils ne pouvaient pas montrer le moindre manque de satisfaction ou le plus petit signe de friction avec une autre personne, sous peine de subir des remontrances et d'être brimé une fois le retour sur Terre !

Une telle surveillance avec ses effets néfastes sera bien entendu à proscrire pour un vol Terre - Mars. Cependant, il sera indispensable de mettre en place un support psychologique. Avec un voyage vers Mars, on change véritablement de dimension. Les modules Apollo n'ont mis que trois jours pour effectuer le voyage vers la Lune, et le retour était possible en permanence. A l'inverse, un voyage vers Mars dure plusieurs années et en cas de problèmes, un retour immédiat est impossible. L'assistance de la Terre sera fortement limitée par le délai de transmission des ondes radios (10 à 20 minutes). Il sera alors bien difficile de mettre en place une assistance psychologique efficace. Les membres de l'équipage seront livrés à eux-mêmes, ils ne pourront compter ni sur un retour, ni

sur des secours. Un système expert situé à bord du vaisseau pourra procéder à des examens de l'état de santé psychique. Il sera souhaitable qu'un membre de l'équipage possède des connaissances en psychologie et en psychiatrie. Des faux problèmes techniques pourront être créés, de manière à ressouder l'équipage. Il sera aussi possible de détourner l'agressivité de l'équipage en faisant jouer le rôle de bouc émissaire à un membre du contrôle de mission.

La sélection des membres d'équipages sera particulièrement rude. Les astronautes seront d'abord triés sur leur état de santé et leur résistance physique, mais la santé psychique sera aussi un critère de sélection particulièrement important. Des candidats instables du point de vue émotionnel, présentant des risques d'un point de vue psychiatrique ou avec une faible compatibilité sociale (un point essentiel pour l'intégration dans un groupe et un bon comportement en son sein) seront écartés. Ainsi, les affinités des uns avec les autres compteront beaucoup dans la constitution des équipages finaux. L'équipage pourra être constitué d'un nombre impair de personnes, histoire de pouvoir toujours prendre une décision à la majorité. D'autres se prononcent pour un équipage pair (4 ou 6 personnes). Il paraît inconcevable que la première mission humaine vers une autre planète ne comporte pas de femmes. De plus, les éléments féminins ont un effet modérateur en cas de tensions. Les membres de l'équipage connaîtront une vie affective et sexuelle, mais les avis divergent sur la question de savoir si l'on choisira des couples déjà constitués ou non.