

La conquête de Mars

Les sujets permettant de visiter les thèmes du corps et de l'aventure avec un regard scientifique ne manquent pas. Parmi ceux-ci, celui de la conquête de Mars s'est vite imposé. Nous verrons que les contraintes physiques et physiologiques d'un voyage dans l'espace lointain, voyage aux conséquences très différentes de celles que nous avons pu connaître avec l'exploration lunaire par exemple, amènent à s'interroger sur la nécessité de modifier les capacités du corps humain. Comment contrer les effets de la microgravité ? Comment gérer l'exposition prolongée aux radiations cosmiques ? comment anticiper la traversée des ceintures de Van Allen ? Comment se protéger des éruptions solaires ? Et plus globalement comment envisager la manière de se soigner, de se nourrir ou même de respirer ? Nos réflexions nous amèneront aux frontières du transhumanisme.

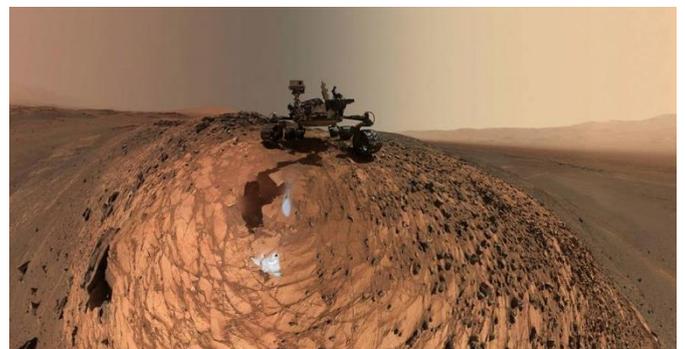


Par ailleurs, aller sur Mars sera manifestement une aventure. Tous les ingrédients seront là. Une aventure est pour tout un chacun un moyen de se révéler, de découvrir qui se cache au plus profond de soi. La vie quotidienne est de plus en plus normée et prévisible. Les chemins y semblent tracés très tôt. Le libre-arbitre, les choix individuels se réduisent comme peau de chagrin sous la pression d'un « politiquement correct » toujours plus prégnant et de principes de précautions sclérosants. Pour la grande majorité

d'entre nous, en dehors de la pratique de quelques loisirs, petites fenêtres de liberté, faire ce qu'on attend de nous a pris le pas sur être soi-même. De nombreuses questions fondamentales que tout un chacun s'est un jour posées restent sans réponse. Par exemple, comment aurais-je agi dans telle ou telle circonstance (historique ou non) ? Aurais-je eu le cran de me dresser contre la majorité ? Aurais-je eu un brin de courage face à telle situation ? Ou simplement ai-je quelque chose dans les tripes dont je pourrais être fier ? La seule manière de trouver des embryons de réponses est de se retrouver plongé dans les circonstances hors-normes, dans des situations auxquelles notre éducation et nos acquis ne nous ont pas préparés. Nous entrons là dans le domaine de l'aventure.

Toutefois, libérer ce qui est le plus enfoui en nous n'est pas chose aisée. Il va falloir quelques ingrédients pour que la magie de l'aventure opère.

Tout d'abord, il faut s'abstraire de sa propre temporalité, une aventure est « hors du temps » avant tout. Bien que ce soit en apparence paradoxal, c'est l'espace qui aide à trouver son temps. Sans aller jusqu'à poser une identité de nature des coordonnées de temps et d'espace comme l'a fait Einstein avec sa théorie de la relativité, on peut noter que la confrontation avec de grands espaces aide à trouver sa propre temporalité. D'ailleurs, nombre d'écrivains, qui avaient bien compris qu'écrire c'est aussi créer du temps, ont été de très grands voyageurs.



Ensuite, il faut une mise en danger psychique et physique. Une aventure ne peut pas être qu'intellectuelle. C'est l'instinct de survie qui va faire sauter les barrières et permettre de révéler nos vraies

ressources. L'aventurier n'est pas un casse-cou et encore moins un trompe la mort. Mais il sait qu'il va s'exposer à des risques : il sera préparé soigneusement à certains - qu'il connaissait avant de partir - mais d'autres, qu'on qualifie de risques objectifs, lui échapperont totalement. Par exemple, un alpiniste est préparé à la chute dans une crevasse : il a du matériel, s'est entraîné à faire des mouflages pour secourir son compagnon de cordée qui y serait tombé. Il est préparé au froid, à la dureté physique de son ascension. Il a lu des topos de la voie qu'il envisage, il a vu des photographies de l'ascension qu'il va tenter. Mais quelle que soit sa préparation, si un sérac cède au moment où il est en train de traverser au pied de celui-ci, il ne pourra rien. Ses ascensions précédentes lui auront appris que s'il traverse à 5h de matin, il y a nettement moins de chances que le sérac s'effondre que s'il s'y trouve à midi. Ses aventures précédentes lui auront donné des « jokers », ces fois où il s'en est tiré à un cheveu près. Parfois, il aura mieux réagi qu'il n'aurait pu le prévoir, parfois ce sera le contraire. Au fur et à mesure, il connaîtra ses forces, ses faiblesses. Il pourra alors choisir le niveau de risque qu'il juge gérable tant au niveau physique que psychique, mais sans pouvoir le réduire à zéro toutefois. S'il revient en montagne, c'est qu'il aime ce qu'il voit de lui-même là-haut mais c'est aussi qu'il a accepté que sa prochaine ascension pourrait être la dernière. Cette démarche est typique d'une aventure en cela qu'elle sert aussi à apprivoiser la mort en allant la regarder dans les yeux ...mais sans trop la provoquer. En acceptant ce jeu, l'aventurier s'extrait de la masse du commun des mortels et trouve une sorte de transcendance : plus que sa qualité d'humain, c'est sa démarche qui l'extrait de la masse et lui permet d'accéder à une sorte de salut athée.

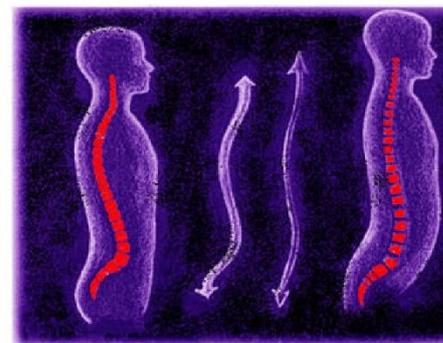
A ce titre la conquête de Mars est l'archétype de l'aventure : un voyage de 56 millions de kilomètres au plus court sans retour possible, un saut dans l'inconnu avec des risques objectifs énormes, une autonomie quasi complète, l'isolement en milieu clos, la monotonie des tâches durant le voyage...la liste est sans fin.

Première étape : y aller !

Les contraintes de la microgravité

Fragilisation squelettique

C'est la gravité qui a façonné pendant des millions d'années le monde animal et végétal. Si la gravité n'existait pas, le tissu osseux serait inutile, de même que le tissu musculaire puisqu'une partie importante du rôle de ces systèmes est de lutter contre la pesanteur. 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 : fémur, tibia). La perte de masse osseuse est de 1 % par mois en moyenne. Par ailleurs, les niveaux élevés d'acide urique, de calcium, de phosphore et de potassium dans l'urine peuvent aussi conduire à l'apparition de

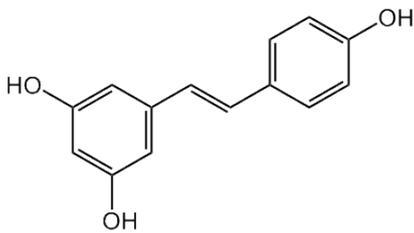


Pendant un vol spatial, la colonne vertébrale d'une personne peut s'allonger de plus de sept centimètres en l'absence de pesanteur.

calculs rénaux. Les stratégies de prévention de cette perte osseuse sont, pour l'instant, surtout basées sur la pratique d'exercices physiques. Outre le fait que le matériel utilisé actuellement dans l'ISS serait trop lourd pour être emporté lors d'une mission vers Mars, on commence à mieux comprendre pourquoi ceux-ci ne sont pas efficaces. Il a en effet, été montré que le nombre et l'amplitude des impacts en orbite sont très faibles comparés à ceux sur terre. Les contre-mesures devraient être capables de reproduire les impacts d'une journée type sur terre en nombre de répétition et en amplitude de force appliquée. La « dose requise d'impacts » pour prévenir la perte osseuse de la hanche a été évaluée à 100 impacts/jour à un niveau de plus de 3,9 g. Une toute autre piste serait une modification génétique du gène LRP5 des astronautes : la mutation G171V augmenterait la densité osseuse.

Atrophie musculaire

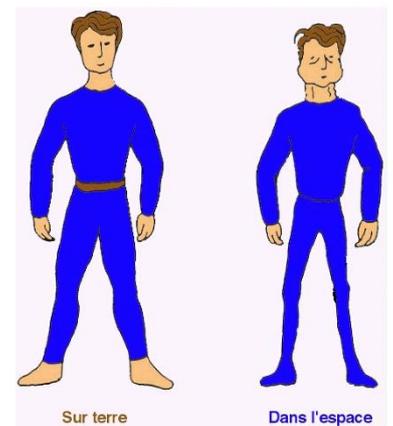
Sur Terre, les muscles maintiennent leur fonction, leur masse et leur force en s'opposant en permanence à la gravité terrestre. En apesanteur, certains muscles ne servent plus à rien (n'ayant plus rien à supporter), et commencent à s'atrophier. L'atrophie musculaire réduit l'habileté, la force, la locomotion et le maintien d'une posture correcte. C'est également la source de douleurs musculaires et ligamentaires. Comme précédemment le maintien d'une activité physique est la première des contre-mesures envisagées. La piste d'une mutation génétique du gène MSTN qui par suppression de la myostatine augmente la masse musculaire en est une autre. Plus généralement c'est le métabolisme énergétique qui est modifié dans l'espace. Il a montré lors d'expérience en bed-rest que, lorsqu'un exercice physique est prescrit alors que la part d'activités spontanées reste quasi-nulle, les sujets perdent du poids de manière significative par déficit énergétique. Des contremesures nutritionnelles doivent impérativement être mises en place. Envisagée dans un premier temps, les dernières études montrent qu'une supplémentation en acides aminés essentiels a des résultats mitigés au mieux, et au pire des effets délétères sur la masse osseuse par les changements induits sur le pH plasmatique.



La voie d'une supplémentation par le resvératrol (un polyphénol de la classe des stilbènes présent dans certains fruits comme les raisins qui est le fruit le plus riche en resvératrol) semble beaucoup plus prometteuse : chez le rat suspendu elle a permis de mettre en évidence un effet bénéfique de la molécule sur certains des syndromes de déconditionnement à la gravité. Ainsi sous resvératrol, un rat suspendu maintient la masse et la force de contraction du soléaire, la capacité oxydative mitochondriale, la sensibilité à l'insuline et la densité osseuse. De plus la molécule favorise le shift des fibres rapides vers les fibres lentes, ce qui représente la situation inverse de ce qui est observé lors de vols spatiaux

Modifications du système cardio-vasculaire

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 jambes sont plus fines et les astronautes ressentent alors le syndrome de la tête pleine : les veines du cou et du visage ressortent, les yeux rougissent et se gonflent. Une congestion du nez et des sinus et des maux de têtes accompagnent le phénomène.

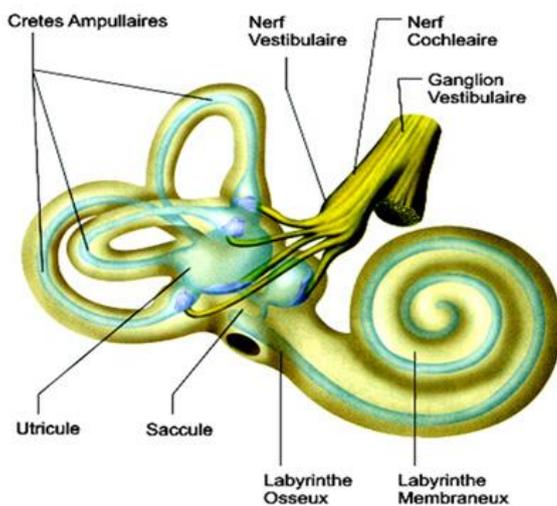
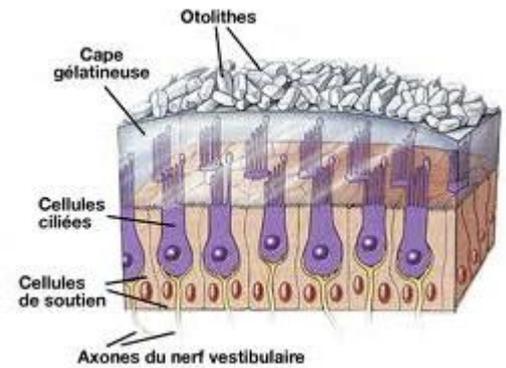


Par ailleurs, l'organisme humain va interpréter cette irrigation importante de la partie supérieure du corps comme une augmentation du volume sanguin. Effectivement, les oreillettes du cœur, qui comportent des capteurs sensibles au changement de volume (des volorécepteurs), vont se dilater. Ces volorécepteurs, 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. Si l'état d'apesanteur ne modifie pas de manière critique le rythme cardiaque et la tension artérielle, et si la perte liquidienne dont nous venons de parler constitue l'une des adaptations à la microgravité, il n'en reste pas moins que l'appareil cardio-vasculaire fonctionne dans des conditions anormales pendant le vol spatial : la diminution du nombre de globules rouges (10 à 15%)

provoque une sorte d'anémie spatiale qui, si elle ne compromet pas la santé de l'équipage, peut, associée à l'hypovolémie sanguine, avoir des conséquences fâcheuses en cas de blessure pendant le vol.

Troubles vestibulaires et proprioception

L'absence de pesanteur a d'abord un effet important sur le sens de l'équilibre. C'est l'oreille interne, grâce aux canaux semi-circulaires (orientés dans les trois plans de l'espace qui détectent l'amplitude de la rotation de la tête) et à l'utricle et au saccule (qui mesurent les accélérations linéaires horizontale et verticale), qui nous permet de positionner la verticale et de ressentir les mouvements de notre corps. En effet, les otolithes, ces petites particules de calcium qui se déplacent sous l'effet de la gravité, vont entraîner les maculles utriculaires et sacculaires : ces dernières vont provoquer l'angulation des cils stimulant les cellules sensorielles qui transmettent l'information au cerveau. 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.



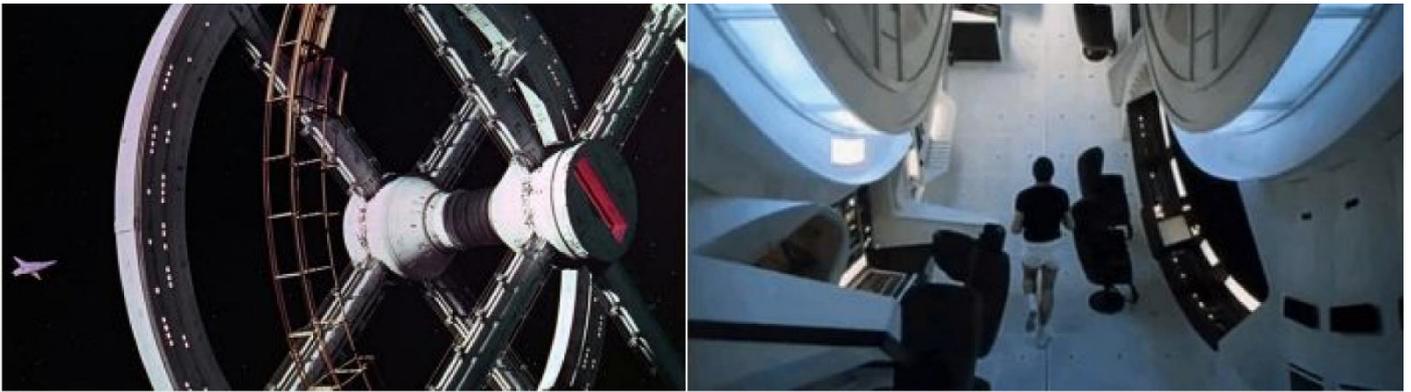
Les astronautes ressentent alors différents symptômes: cela va du mal de tête au vomissement avec nausées, en passant par une étrange et désagréable sensation de désorientation. C'est le fameux mal de l'espace (SMS ou Space Motion Sickness).

Le mal de l'espace est en général temporaire et disparaît 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.

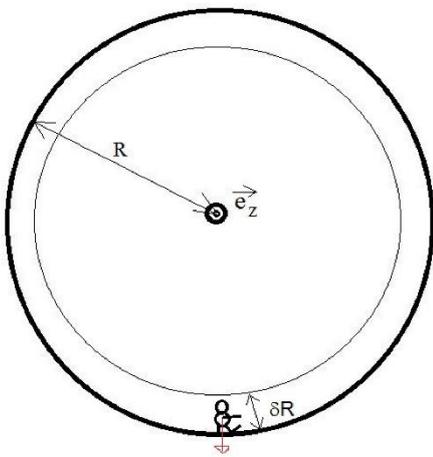
Il a été constaté lors du retour sur Terre, que les astronautes ont du mal à maintenir une posture correcte. Certains ressentent des vertiges. Les effets semblent être proportionnels à la durée de la mission. Que va-t-il se passer lorsque les astronautes vont débarquer à la surface de Mars et retrouver une certaine gravité (1/3 de la gravité terrestre), 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 ré-acclimatation à la gravité. Combien de temps faudra-t-il attendre avant qu'ils ne puissent travailler efficacement ?

Nous pourrions continuer longtemps la liste des conséquences de la microgravité : affaiblissement du système immunitaire, sensibilité aux infections durant le voyage (en l'absence de pesanteur, les virus et autres champignons microscopiques flottent bien plus longtemps dans l'air), diminution du volume pulmonaire et part plus importante de la respiration abdominale, modifications à l'échelon cellulaire (expression des gènes, morphologie des cellules...). Il est évident que l'apesanteur est un problème majeur.

Il serait en apparence plus simple d'envisager le voyage dans un vaisseau avec gravité artificielle.



Le principe est d'avoir une zone habitable circulaire en rotation sur elle-même dans le vaisseau. La rotation crée une force centrifuge (qui fuit l'axe de rotation donc) : cette force donne l'illusion d'une gravité.

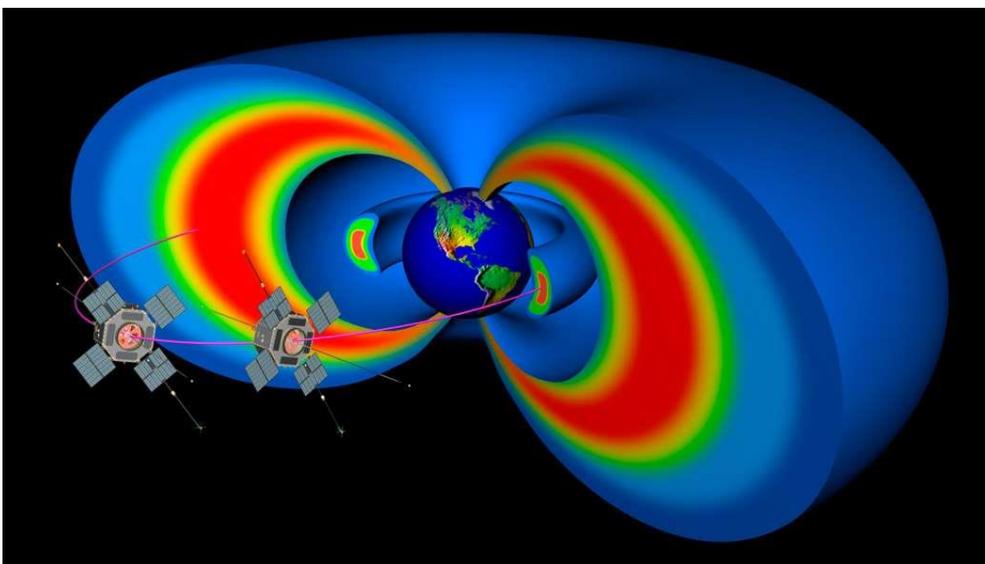


Le problème est que l'intensité de cette force dépend de la distance à l'axe de rotation et du carré de la vitesse de rotation. On a donc deux moyens d'agir pour arriver à l'intensité gravitationnelle souhaitée : soit on a un grand anneau qui tourne lentement, soit un petit qui tourne plus vite. Avoir un petit anneau a deux inconvénients majeurs : la gravité varie beaucoup, dans ce cas, entre la tête et les pieds de l'astronaute. De plus la vitesse de rotation élevée induit des forces de Coriolis assez intenses entraînant des vertiges pour les astronautes : une vitesse de rotation de 2 tours par minutes semble être acceptable physiologiquement. Pour recréer une gravitation du type terrestre avec cette vitesse de rotation, il faudrait un anneau de 224m de

rayon ! Pour une gravitation martienne, un anneau de 75m de rayon serait suffisant. C'est hélas encore beaucoup trop grand pour être envisageable (à titre de comparaison, l'ISS fait la taille d'un petit appartement !).

Le danger des radiations

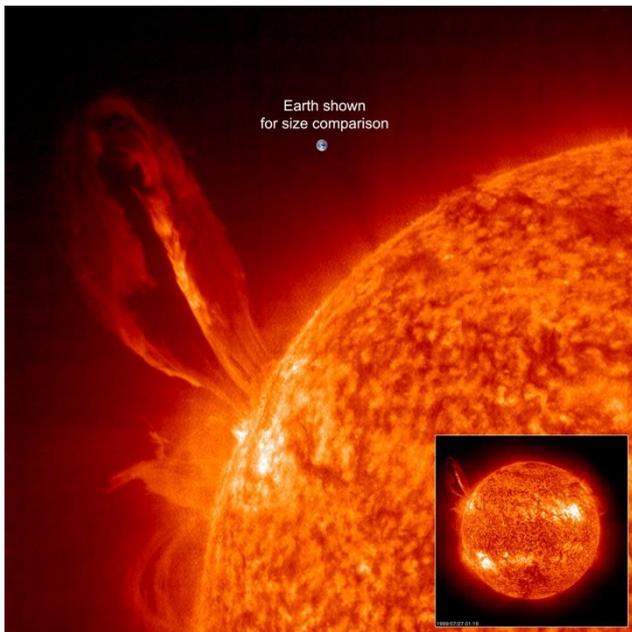
Les rayonnements du milieu interstellaire peuvent être de nature corpusculaire (électrons, protons, noyaux lourds) ou photonique (rayons gamma, X, ultraviolet, infrarouge, visible ou radio). Les trois principales sources de radiations sont les ceintures de Van Allen qui entourent la Terre, les particules 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). D'un côté, les deux ceintures stoppent une bonne partie du rayonnement qui baigne le milieu interplanétaire. D'un autre côté, elles sont radioactives. 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. Comme elles s'étendent sur 40 degrés de latitude terrestre (20 degré au-dessous et au-dessus de l'équateur magnétique, elles n'ont pas posé de problèmes aux missions Apollo : en effet, les plans géométriques des trajectoires des diverses missions étaient inclinés de 30 degré sur l'équateur et les capsules des astronautes d'Apollo qui se sont rendus en orbite lunaire n'ont donc traversé que les bords des ceintures. Ces derniers ont passé quelques minutes dans la ceinture intérieure constituée de protons énergétiques et une heure et demie dans la ceinture extérieure constituée d'électrons de faible énergie. Même si le blindage en alliage d'aluminium des capsules de l'époque assurait une protection correcte, ils ont tout de même développé des cataractes environ 7 ans plus tôt en moyenne que les autres astronautes.

Dans le cas d'un voyage vers Mars, la traversée des ceintures de Van Allen ne pourra pas se faire en passant sur les bords. Elle devra se faire rapidement, pour éviter que les astronautes ne soient exposés à des doses massives de rayonnements ionisants. Une solution 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 : les lancements se font au voisinage de l'équateur terrestre afin de bénéficier au maximum de l'effet d'entraînement de la rotation de la Terre sur elle-même.



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 MEV), 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 peut-être 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. Il est à noter que nous avons été très chanceux jusqu'ici : toutes les missions habitées (65 soviétiques et 60 US à la date du 1^{er} juillet 1989) se sont déroulées sans que le danger dû aux éruptions solaires ait été affronté directement. Il y eut une éruption importante en août 1972, qui aurait pu être mortelle pour les astronautes, mais elle eut lieu entre les vols Apollo XVI (avril 1972) et Apollo XVII (décembre 1972).

Enfin, 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 GEV) 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). La dose reçue dépend en fait de l'activité solaire. Lorsque celle-ci est à

son minimum, le rayonnement cosmique est plus important (en effet, 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 !

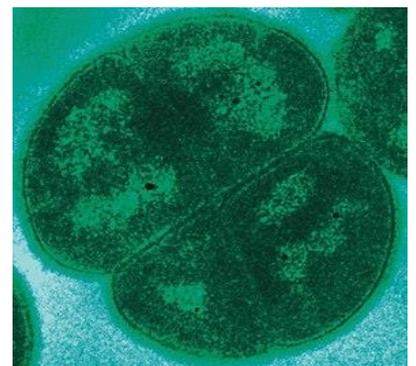
Dans la navette spatiale ou l'ISS, l'équipage est soumis à un rayonnement de 30 millirems par jour (l'équivalent de deux radiographies de la poitrine par jour). Par comparaison, une personne vivant dans une région au niveau de la mer reçoit seulement 100 à 150 millirems par an (soit 1% du rayonnement 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.

A partir de quelle dose les effets néfastes 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. 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 de 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 pourcent.

La contremesure principale sera l'installation d'un blindage autour du vaisseau : le problème sera du compromis à faire entre la protection offerte et le poids de ce dernier. Un blindage de quelques centimètres d'épaisseur pourrait arrêter une bonne partie des particules issues des éruptions solaires : quelques centimètres sur l'ensemble d'un vaisseau représentent déjà un poids additionnel énorme. Pour arrêter les rayons cosmiques, qui sont beaucoup plus énergétiques, il faudrait employer des boucliers épais de plusieurs mètres ! Par ailleurs, même avec des boucliers, la protection n'est pas parfaite : le rayonnement énergétique interagit avec ces derniers et des particules secondaires sont émises diminuant ainsi l'efficacité de la protection.

Les bactéries que nous hébergeons dans notre organisme pâtiront elles aussi de ces voyages. On s'intéresse donc à certaines bactéries et notamment *Deinococcus radiodurans*, une bactérie capable de supporter des radiations 7000 fois plus élevées que celles qui tueraient un humain. Sa paroi n'est bien sûr pas imperméable aux rayons gammas et donc n'empêche pas ceux-ci d'abîmer les chromosomes de la bactérie : c'est sa capacité, grâce à des enzymes spécialisées dans l'élimination de radicaux libres, à réparer son génome à partir de copies de ce dernier qui est



impressionnante. Intégrer des gènes caractéristiques de ce microbe pour les agréger à de l'ADN humain pourrait rendre les astronautes insensibles aux effets négatifs des rayons cosmiques. Une autre voie explorée est celle de nanomatériaux qui pourraient être utilisés pour protéger la peau humaine contre les radiations dangereuses. Ces matériaux seraient soit ajoutés en surface comme une sorte de « nanocombinaison », soit intégré dans notre peau et en faire partie prenante.

Et tous les autres problèmes...

Fournir aux astronautes de l'eau et un air respirable est déjà un défi en soi. Si on se base sur le fonctionnement de l'ISS, une partie de l'eau provient du filtrage et du recyclage de l'urine et de la sueur. Mais les filtres peuvent se boucher à cause du calcium résultant de la perte osseuse des astronautes, et des microbes peuvent contaminer l'eau. Les épurateurs qui extraient le dioxyde de carbone de l'air tombent parfois en panne, eux aussi, comme presque tous les instruments de la Station. En orbite terrestre basse, ce n'est pas un problème vital : la Nasa peut envoyer des pièces de rechange. Un vaisseau à destination de Mars ne disposerait que des pièces détachées qu'il emporterait. Tout l'équipement de survie devra donc être nettement plus fiable qu'il ne l'est aujourd'hui, et quasiment incassable.

L'équipage devra avoir à sa disposition un matériel médical dernier cri, et un membre au moins devra posséder des compétences en médecine et dans le domaine dentaire, peut-être même en chirurgie. La consultation d'un médecin terrestre sera bien entendu toujours possible (télémédecine) mais au vu de la durée des communications, les compétences devront d'abord être présentes dans le vaisseau.

Nous ne pouvions finir ce tour d'horizon sans parler un peu du facteur psychologique. Une fois l'enthousiasme du départ passé, la routine va s'installer. 500 jours de voyage dans un environnement sans changement, pauvre en stimulus ! Il y aura forcément des conséquences importantes quelles que soient les qualités humaines individuelles des membres de l'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 notamment au-delà de 30 jours (ces effets ont été mis en évidence dans des environnements particuliers comme les stations polaires, ou les sous-marins qui présentent des facteurs d'isolement similaires) :

- 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.

Il est évident que le soutien psychologique basé sur de nombreuses communications avec la base terrestre tel qu'il est pratiqué pour les astronautes de l'ISS ne pourra pas s'appliquer dans la même forme ne serait-ce qu'en raison de la durée des communications.

Enfin la gestion d'équipages mixtes sur une telle durée est une grande inconnue. Dans le cas d'une mission longue durée, il est difficile d'écarter la question de la sexualité. D'après un récent rapport de la National Academy of Sciences, co-signé par le psychologue Lawrence Palinkas de l'Université de Los Angeles, la proximité des astronautes au cours d'une mission, ainsi que leurs imbroglios sentimentaux, pourraient menacer le succès des longs voyages spatiaux. Ce rapport basé sur des études menées durant près de vingt ans dans une station polaire d'Antarctique affirme que « l'atmosphère entre les astronautes pourrait être tout aussi explosive que celle dans la base polaire » : d'après l'anthropologue, « des couples se formeraient au sein de l'équipage pendant la durée de la mission, et des conflits d'ordre sexuel ou des problèmes d'infidélité pourraient mener à des désordres sociaux graves ». Pour autant il n'est pas envisagé

d'équipage composé uniquement d'hommes ou de femmes. En effet, « si le sexe peut être source de conflits, il peut également être un moyen d'évacuer le stress et les tensions ».

Et une fois sur place ?

L'atterrissage

Tout d'abord il faudra atterrir ce qui n'est pas une mince affaire. La gravité sur la Lune était d'un sixième de celle de la terre et il n'y avait pas d'atmosphère. Sur Mars, la gravité vaut le tiers de celle de la Terre soit le double de celle de la Lune) : il sera donc plus difficile de ralentir les vaisseaux. De plus, une atmosphère existe sur Mars (essentiellement du CO₂) : si cette atmosphère est trop ténue pour ralentir un éventuel vaisseau, elle pourra par contre causer une surchauffe importante. Ce n'est pas un hasard si nombre de sondes se sont déjà écrasées sur Mars. Même si la NASA a réussi à poser Curiosity, un robot d'une tonne, il s'agira de poser dans le cas d'une mission humaine une fusée d'une vingtaine de tonnes au moins. Les puissances en jeu ne sont pas du tout les mêmes. Pour l'instant, c'est la rétropropulsion supersonique de la société Space X qui offre les meilleures perspectives.



Le lieu d'atterrissage ne devra pas être choisi au hasard...mais ce sera un casse-tête. Pourquoi ? Il faut un lieu riche en glace car la réussite de la mission va reposer sur la présence d'eau. En la combinant au dioxyde de carbone de l'atmosphère martienne, les futurs colons pourront produire de l'oxygène pour respirer et du méthane qui servira de carburant. Or pour l'instant, la glace a été détectée dans les zones polaires martiennes (au-delà de 55° de latitude nord et sud) en lisière des calottes de gaz carbonique. Malheureusement ces zones subissent un long hiver martien les rendant inexploitable pour une installation humaine très dépendante de l'énergie solaire. La limite supérieure pour une installation possible est de 50°. Idéalement un site équatorial pour bénéficier d'une bonne insolation, en fond de vallée afin d'avoir une pression atmosphérique plus élevée et de maximiser l'effet des parachutes, non loin de jeunes volcans qui pourraient receler des nappes d'eau chaude en profondeur serait idéale.

La vie sur place

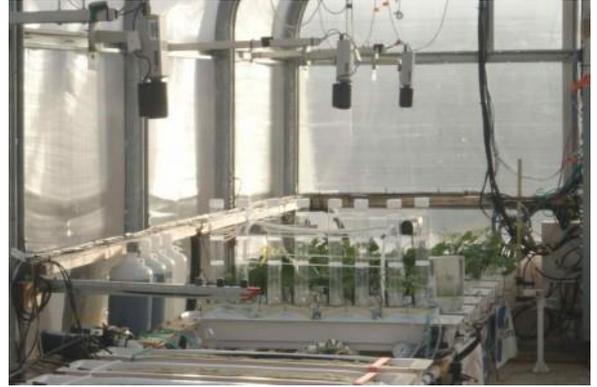


La journée martienne est de 24h37mn, l'année martienne est de 687 jours. C'est assez proche de ce qu'on a sur Terre.

Par contre la température au sol oscille entre 37°C et -127°C. La pression atmosphérique y est de 7 hPa (hecto Pascal) à comparer aux 1013 hPa de la Terre. La dose de radiations à la surface de Mars est de 9 rems par an alors que sur Terre elle est comprise entre 150 et 300 millirems par an. L'installation ne va pas être facile...

Il est envisagé au début un habitat à la surface de la planète. Les premiers modules seront amenés depuis la Terre. Dans un deuxième temps, un habitat enfoui sous le régolithe martien (couche de poussière produite par l'impact de météorites et recouvrant la roche) sera privilégié afin de diminuer l'exposition aux radiations (on tomberait alors à 6 rems par an soit un gain de 30%). On pourrait imaginer des galeries creusées soutenues par des briques fabriquées sur place. On retrouve alors la nécessité d'avoir un site avec des nappes d'eau ou de la glace (la fabrication de briques nécessitant de l'eau).

Des structures gonflables permettraient de créer des serres. Le sol de Mars, d'après les prélèvements effectués par les diverses sondes est riche en fer, calcium et potassium : il est fertile. Pour que les plantes puissent croître, il faut une pression d'au moins 50 hPa : il faut donc augmenter la pression de gaz carbonique sous serre d'un facteur 10 ce qui est peu car c'est encore 20 fois moins que notre pression normale sur Terre. Baignant dans du gaz carbonique, les plantes se mettront à produire de l'oxygène et en quelques semaines l'atmosphère de la serre sera respirable. Il suffira de monter la pression à 350hPa pour que l'homme puisse y pénétrer sans scaphandre. A cette pression, l'air est assez dense pour soutenir le vol d'insectes (car les colons seront venus en apportant des abeilles depuis la Terre pour la pollinisation).



Pour atteindre l'autosuffisance alimentaire, 30m² de cultures intensives sont nécessaires par personne soit 200m² pour équipage de 6 personnes ou 70m² en superposant 3 niveaux de culture (la taille d'un cours de tennis). Comme l'insolation sur Mars ne vaut au mieux que 52% de celle sur terre et tombe à 37% au point le plus distant de l'orbite martienne par rapport au soleil (l'aphélie), il va falloir éclairer 12h par jour voire 24h par jour pour du blé à haut rendement. Même en utilisant des LED ne projetant que de la lumière bleue et rouge (le vert ne sert pas à la photosynthèse), il faut 0.5kW/m² soit 100kW pour une serre de 200m². Cela nécessiterait 1000m² de panneaux solaires (et encore ceux-ci ne produisent que le jour et hors tempêtes de poussière). Une solution serait d'apporter un réacteur nucléaire de poche de 100 à 150kW : son poids est de 5 tonnes ce qui n'est pas rédhibitoire. Par contre, une telle serre nécessite pour fonctionner 30 heures – homme d'entretien par jour soit 6h par membre d'équipage et par jour. C'est énorme et il va falloir trouver des moyens d'automatiser la gestion de la serre à l'aide de robots afin de diviser ce temps par deux au moins. Enfin les cultures produiront 25 grammes d'oxygène par m² et par jour soit 5kg pour une serre de 200m² : un homme a besoin d'un kilogramme d'oxygène par jour. La serre produit donc quasiment la quantité d'oxygène nécessaire à la survie de l'équipage.

Les colons devront aussi produire sur place le carburant nécessaire au retour car même si le carburant embarqué pour le voyage représente 90 à 95% du poids total de la fusée, il sera entièrement consommé par le voyage aller. Outre la mise en place de la production (et la nécessité d'avoir de la glace pour ça comme nous l'avons vu), se posent les problèmes de stockage et de transfert dans les réservoirs de la fusée.

Evidemment les problèmes psychologiques évoqués lors du voyage se poseront quasiment de la même manière : l'isolement et le confinement seront similaires. Les communications avec la Terre seront difficiles. Au plus proche, Mars est à 56 millions de kilomètres de la Terre : un signal mettra 3 minutes et 7 secondes à aller de Mars à la Terre et autant pour revenir. Au plus loin, Mars est à 376 millions de kilomètres de la terre : le signal mettra alors presque 21 minutes à faire le trajet. Un cycle question - réponse prendra donc plus de 40 minutes. Et c'est sans parler des interférences radios qui lorsque Terre et Mars sont en conjonction (côtés opposés au Soleil) rendent toute communication impossible.

Conclusion

La conquête de Mars rassemble les ingrédients d'une aventure d'une ampleur rarement connue. Elle mêle des défis techniques et humains qui semblent presque au-delà de notre portée. Les risques physiques et psychologiques pour les futurs astronautes seront énormes. Comment imaginer leur réaction future quand ils verront la Terre disparaître de leur horizon sachant que le voyage retour sera hypothétique ?

Et encore n'avons-nous abordé que le cas que d'un équipage réduit. Une colonisation massive posera des problèmes à une autre échelle. Nous entrons là dans un domaine hautement spéculatif où il est envisagé un terraformage.

Il faudrait recréer une atmosphère sur Mars en faisant fondre les calottes polaires de gaz carbonique (il faudrait un miroir de 250km de diamètre flottant à 200000km au-dessus du pôle nord pour obtenir une augmentation de 5°C nécessaire à la sublimation du CO₂!). Le principe est de créer un effet de serre qui va réchauffer la planète à toutes les latitudes permettant au gaz carbonique enfoui dans le sol de s'échapper à son tour dans l'atmosphère. En recouvrant 1% du sol de Mars de colonies bactériennes produisant méthane et ammoniac, on pourrait accélérer le processus et produire 1000 tonnes de gaz à effet de serre par jour. En 30 ans, la température du sol grimperait de 10°C. En un siècle la pression atteindrait 500hPa : à cette pression (qui est celle qu'on a en haut du Mont Blanc), plus besoin de scaphandre ! Des cultures de bactéries pourraient fournir le premier millibar d'oxygène en un siècle de temps. Des plantes évoluées prendraient alors le relais et pourraient fournir 100hPa en un millénaire. L'air serait alors respirable.