

Rapport de la Commission Nutrition (Résumé)

Cette étude bibliographique concernant les aspects nutritionnels dans le cadre de missions martiennes ne prétend pas faire un recensement exhaustif des différentes expériences de nutrition acquises en environnement clos. Elle s'attache toutefois à fournir un certain nombre d'informations de base en matière de nutrition afin de faire découvrir ce sujet important qu'est la nutrition pour les vols spatiaux habités. Les informations diffusées dans ce rapport résultent de nombreux échanges et réflexions entre les membres de la Commission Nutrition de l'Association Planète Mars. Ce rapport ne constitue qu'un résumé du rapport complet.

I - A) Apports nutritionnels

La vraie et unique raison de manger est de répondre aux besoins nutritionnels du corps. A cela s'ajoute la recherche d'un certain plaisir : plaisir des sens (vue, odorat, goût), plaisir du partage (plaisir d'être ensemble durant le repas).

Les NUTRIMENTS, éléments biochimiques, sont les composants de toute notre alimentation. On distingue :

- les Macronutriments : glucides, lipides, protéides. L'alcool se classe dans les macronutriments mais n'a aucun intérêt vital.
- les Micronutriments : vitamines, sels minéraux, oligoéléments, phytoéléments.

Les **MACRONUTRIMENTS** :

Les **GLUCIDES** : ensemble de molécules au goût sucré. Autres noms : sucres, oses, hydrate de carbone, saccharides. Sources principales : fruits féculents, soja, chocolat ...Rôle énergétique principalement. On distingue biochimiquement les « sucres simples » et les « sucres complexes ».

Sucres simples : glucose (C₆H₁₂O₆), fructose, galactose, lactose, maltose, saccharose. Seul le glucose est utilisable par les cellules.

Sucres complexes : glycogène, amidon, fibres, tous polymères du glucose

Au point de vue métabolique on distingue les « sucres lents » (à consommer de préférence) et les « sucres rapides ». Si cette terminologie existe toujours il est préférable de parler de sucres à index glycémique élevé ou à index glycémique bas. L'index glycémique est un nombre relatif compris entre 0 et 100 (cas du glucose) traduisant la vitesse de digestion puis d'assimilation de l'aliment par l'intestin donc de son passage dans le sang.

Les **LIPIDES** : il s'agit de graisses et corps gras : cholestérol HDL et LDL, acides gras, triglycérides, phospholipides ...On distingue les acides gras saturés (AGS) et les insaturés (AGI). Les Acides Gras Essentiels (AGE) (classe oméga 3 et oméga 6) qui ne peuvent être synthétisés par le corps doivent impérativement être apportés par l'alimentation. On parle de « bons » et de « mauvais » lipides.

Bons lipides : ceux dont le corps a nécessairement besoin (oméga 3 et 6) car il ne sait pas les synthétiser.

Mauvais lipides : ceux dont le corps peut se passer, non synthétisés

Besoins : 30 à 35 % de la ration alimentaire énergétique conseillée journallement. 25 % saturé, 50 % monosaturés, 25 % polyinsaturé.

Sources végétales : huiles, margarine, amandes, noisettes. Sources animales : produits laitiers, viandes, volailles, poissons ...

Rôles : réserve énergétique du corps dans tissus adipeux, structure de la membrane des cellules, du cerveau, rôle métabolique.

Les **PROTIDES** : molécules constituées d'acides aminés (AA) dont 8 sont essentiels car non synthétisable par le corps. Indispensables à court terme dans la synthèse des enzymes.

Sources végétales (lentilles, haricots, soja, céréales ...). Sources animales (produits laitiers, viandes, poissons, fruits de mer, œufs ...)

Besoins : environ 15 % de la ration énergétique alimentaire journalière. Idéalement : 50% origine végétale, 50 % origine animale.

Rôles : structure du tissu musculaire, rôle métabolique.

Les **MICRONUTRIMENTS** :

Les *vitamines* : molécules biochimiques non synthétisées par le corps indispensables à son fonctionnement. On distingue : les liposolubles (solubles dans les graisses) groupes A D E K. Les hydrosolubles (solubles dans l'eau et le sang) groupe B. Rôle fonctionnel.

Les *sels minéraux* : éléments de nature minérale présents dans le corps (Na, K, Ca, P, Mg, Fe ...). Rôle fonctionnel mais aussi structurel pour certains (Ca, P).

Les *oligoéléments* : éléments de nature minérale présents dans le corps en petites quantités : Zn, Cu, Cr, Mn, Se, Va, Co, Si, Br, Li ... Rôle fonctionnel dans la production des enzymes.

I - B) Besoins nutritionnels du corps humain :

Notre corps a besoin d'être nourri pour répondre à trois types de besoins vitaux : besoins plastiques ou structurels, besoins fonctionnels, besoins énergétiques.

Besoins structurels : assurés principalement par les lipides et les protides. Les protides sont les éléments essentiels des muscles et des tissus de soutien. Les lipides sont les constituants principaux des membranes de toutes nos cellules et du tissu du système nerveux. Ces éléments sont en renouvellement permanents.

Besoins fonctionnels : assurés par les protides, les lipides, et les micronutriments..

- Métabolisme : c'est l'ensemble des réactions catalysées par des enzymes de nature protéique dont l'activité nécessite des micronutriments non synthétisés par nos cellules, devant donc être apportés par l'alimentation.

- Régulation : nécessite la présence d'hormones de nature essentiellement protéique mais aussi de nature lipidique.

- Communication nerveuse : son bon fonctionnement nécessite la présence de sels minéraux à base de Mg, Ca, Na, K .

- Système immunitaire : sa régulation dépend, entre autres, du bon équilibre entre lipides essentiels (acides gras oméga 3 et 6). Trop d'oméga 6 favorise l'inflammation.

Besoins énergétiques : notre énergie est apportée essentiellement par les lipides et les glucides. Les protéides peuvent servir de sources d'énergie quand les réserves de glucides sont basses ou épuisées. Notre cerveau et les globules rouges ne peuvent utiliser que du glucose. Il est possible de proposer un régime alimentaire répondant aux besoins énergétiques, sans pour autant qu'il réponde aux besoins structurels et fonctionnels. Par contre proposer un régime qui répond aux besoins structurels et fonctionnels répondra au moins en partie aux besoins énergétiques.

I - C) Problématique nutritionnelle des astronautes :

On peut identifier trois types de contraintes : les besoins nutritionnels des astronautes, les contraintes psycho socio émotionnelles, les contraintes matérielles.

Besoins nutritionnels : on peut calquer ces besoins sur ceux d'un être humain en situation normale. Mais est-ce suffisant à long terme ? Non, une alimentation spécifique des astronautes est à prévoir permettant en particulier d'éviter les effets néfastes de l'apesanteur s'il n'y a pas création d'une gravité artificielle lors du voyage: décalcification osseuse, conséquences cardiovasculaires ... Autres contraintes au cours du voyage : rayonnements cosmiques ionisants, absence d'exposition à la lumière naturelle. Les apports nutritionnels devront tenir compte de ces contraintes. Enfin le cerveau a des besoins nutritionnels spécifiques. Par exemple une baisse de la glycémie peut entraîner des symptômes tels que maux de tête, fatigue cérébrale, étourdissements ...L'équilibre des apports en acides aminés et les rythmes biologiques cérébraux devront être respectés.

Contraintes «psycho socio émotionnelles» : l'alimentation des astronautes sur une longue période doit être la plus proche possible d'une alimentation normale. Cela inclut la variété. L'alimentation, au delà des besoins strictement physiologiques, doit aussi rester une source de plaisir.

Contraintes matérielles : ce sont essentiellement les contraintes de volume et de masse des aliments embarqués et de leur conservation. Le cas de l'eau prend une dimension particulière. Pour un équipage de 5 personnes consommant 1 litre d'eau par jour (ration minimale) pendant une mission d'un an la masse d'eau à embarquer est de 1,8 tonne à laquelle il faut ajouter la quantité d'eau nécessaire à la réhydratation de certains aliments, à la toilette des astronautes ... Ces quantités prennent de l'importance en terme de coût énergétique pour les élever hors de la gravité terrestre (d'où l'appel à des solutions de recyclage en général).

III Expériences de nutrition acquises en environnement clos.

III - A) Contraintes concernant l'alimentation des spationautes

Le problème de l'alimentation des spationautes est lié principalement à deux contraintes majeures :

- une contrainte liée à l'homme lui-même : perturbations induites par l'apesanteur sur l'organisme (les vols spatiaux s'étant déroulés jusqu'à présent sans création de gravité artificielle)

- une contrainte d'ordre technique liée aux conditions du vol spatial.

Contraintes liées à l'homme :

lorsque l'homme est placé en microgravité, il a tendance à perdre de l'eau et des sels minéraux dans les urines. Lors des vols spatiaux une déminéralisation osseuse apparaît. Il faut donc compenser ces pertes par une alimentation bien étudiée. L'homme en état d'impesanteur perd une partie de sa masse musculaire. Il faut donc lui apporter suffisamment de protides pour limiter ces pertes.

La situation d'impesanteur semble modifier le sens du goût qui devient moins sensible. Le transit digestif est légèrement ralenti (constipation). Lors d'un vol spatial la vie se déroule dans un milieu confiné et isolé du monde extérieur. La consommation de repas est une des rares occasions de plaisir durant une journée : il faut donc préserver ce plaisir en donnant aux spationautes des aliments à haute valeur gustative.

Des critères sont donc à prendre en compte dans l'élaboration des menus spatiaux :

- critères d'appétence portant sur la couleur, l'aspect, l'odeur des aliments. Critères de dégustation portant sur la saveur et la texture.

- critères diététiques : les besoins quantitatifs alimentaires des spationautes dépendent de leur taille, leur poids, leur âge, leur sexe et surtout leur activité physique pendant le vol (sortie extra - véhiculaire).

Contraintes liées à l'environnement spatial :

les aliments doivent être consommés sans autre préparation qu'une opération de réhydratation et / ou de réchauffage. Ils sont prédécoupés en morceaux de 15 à 20 g. Ils ne doivent pas polluer l'atmosphère (pas de phase liquide). Leurs volumes et masses doivent être minimisés. La résistance de leur emballage est testée ...

III - B) L' alimentation lors des vols spatiaux américains et russes

Vols spatiaux américains :

la nature et le conditionnement des aliments ont considérablement évolué entre les premiers vols Gemini (aliments mixés en tubes ou sachets plastiques) et la navette spatiale américaine. A bord de la navette chaque astronaute dispose d'un plateau repas personnalisé consommé avec des couverts. Les boissons sont prises avec une «paille».

Vols spatiaux soviétiques :

lors des premiers vols Vostok les aliments étaient prêts à l'emploi et mis en tubes. A bord des stations Saliout et Mir il existait un « coin cuisine » avec station de réhydratation et four.

Les spationautes français lors des vols franco-soviétiques et franco-américains ont consommé des produits français contrôlés par le CNES et le CERCAT (Centre d'Étude et de Recherche du Commissariat de l'Armée de Terre).

III - C) La survie des mineurs chiliens :

Suite à un éboulement survenu le 5 Août 2010 dans la mine de San José au Chili, 33 mineurs sont restés bloqués à 700 mètres de profondeur pendant 69 jours. Pendant les 16 premiers jours ils n'ont eu aucun contact

avec la surface. Ils ont finalement tous été remontés vivants à partir du 13 Octobre 2010. Au cours des 16 premiers jours les mineurs se sont nourris avec des réserves qui étaient stockées dans la galerie où ils avaient trouvé refuge, en respectant un strict rationnement : une à deux cuillerées de thon en boîte, un demi verre de lait chaque jour. Puis un tube de forage de 6 cm de diamètre a pu être réalisé entre le refuge des mineurs et la surface permettant d'établir des communications entre mineurs et sauveteurs et par lequel a pu être acheminée de la nourriture.

- pour le petit déjeuner : boisson énergétique contenant protéines et sucre
- en fin de matinée : boisson au yoghourt et aux céréales
- pour le déjeuner : sandwich au jambon + boisson au yoghourt et céréales + 1 kiwi
- le soir : sandwich au jambon
- 5 litres d'eau par jour et par personne

Ils recevaient en outre des galettes spéciales enrichies en protéines (20%) présentant une texture conçue pour les personnes dénutries ou ayant des problèmes de dents. En effet les mineurs commençaient à sentir leurs dents bouger.

Outre les problèmes d'alimentation, les mineurs chiliens restés 69 jours sans lumière naturelle ont connu des troubles liés à la perturbation de leur horloge biologique : troubles du sommeil, de l'humeur, troubles métaboliques.

III - D) Organisation de la vie à bord des sous - marins nucléaires :

Dans un SNLE (sous-marin nucléaire lanceur d'engins) l'équipage part pour 70 à 80 jours et il ne lui sera pas possible de communiquer avec la terre. La préparation du voyage est donc organisée d'un point de vue technique (ne rien oublier) et d'un point de vue psychologique.

A noter que l'on est passé d'une «bannette» de repos dévolue à trois personnes par rotation dans un sous-marin classique à une «bannette» par personne dans un SNLE. Faut-il prévoir pour un astronaute un espace privatif ?

A bord d'un SNLE, certes avec un équipage bien plus important que dans un vaisseau martien, il y a un « cuistot » et son aide. Lorsque les rations de pain embarquées sont épuisées, le cuistot et son aide font le pain eux-mêmes, voire des gâteaux. La préparation de pain et de mets pourrait à la fois améliorer le côté nutrition et diminuer la monotonie du voyage martien. Lors des plongées de longue durée on consomme d'abord les produits frais, puis les produits surgelés, puis les produits lyophilisés. Au cours d'une mission martienne on pourrait consommer les produits frais en premier. Il reste à définir comment on pourrait assurer la conservation des aliments en profitant du vide extérieur (dessiccation) et du froid coté ombre du vaisseau. A notre connaissance, cela n'a pas été expérimenté à ce jour. A bord des SNLE les fêtes calendaires sont respectées. Pour l'équipage martien qui sera sans doute multinational il serait bon d'honorer les différentes fêtes nationales par un repas festif. Il serait judicieux aussi de prévoir avant le départ que chaque membre de l'équipage puisse préparer de temps en temps un met typique de son pays. Il faudra donc prévoir les ingrédients nécessaires.

IV) Aspects psychologiques de la nutrition :

IV - A) Choix des menus :

Le **choix des menus** peut sembler dérisoire par rapport aux objectifs et à l'ampleur d'une mission sur Mars. Toutefois si ce choix ne représente pas le même intérêt en fonction des cultures il reste primordial pour assurer l'équilibre physique et psychologique d'une équipe d'hommes et de femmes qui devront "tenir" dans des conditions de vie extrêmes pendant plusieurs mois.

Dans l'ISS :

Avec la NASA chaque spationaute choisit ses menus afin de respecter les goûts de chacun, aspect important pour un groupe multiculturel. Un nutritionniste valide les choix afin d'assurer la prise en compte des besoins nutritionnels de chacun.

L'expérience de Mars 500 :

Les astronautes dans cette expérience ont eu l'obligation de manger la totalité des menus présentés et uniquement le contenu de ces menus, ceci pour une étude sur les apports sodés. Le cycle des repas était d'une semaine. Les rapports sur cette expérience à laquelle participaient 3 russes, 1 français, 1 chinois et 1 italien feront connaître l'impact de ce choix d'alimentation sur l'équilibre psychologique de l'équipage. Cependant, le français engagé dans l'aventure Mars 500, a vite fait part à sa sortie de sa frustration ressentie devant le peu de variétés dû à un cycle de renouvellement des menus très court, le manque de "fantaisie" et l'impossibilité d'apporter des modifications .

Propositions évoquées par le groupe:

Dans l'hypothèse d'un même menu pour tous:

- envisager des cycles de menus de 6 semaines comme dans les collectivités en France.
- prévoir des repas à thème pour satisfaire tous les goûts culturels et apporter un peu d'exotisme.
- commencer par -des menus contenant des produits frais ou de courte durée de conservation.
- utiliser petit à petit des aliments de moyenne puis longue conservation.

Dans l'hypothèse où chacun a choisi ses menus avant le départ :

-il peut être envisagé la possibilité d'échanger ponctuellement son menu du jour avec celui d'un autre membre.

Quelque soit la solution choisie l'intervention d'un nutritionniste est incontournable pour éviter les carences et assurer le respect des équilibres physique et psychologique qui sont étroitement liés a fortiori dans des conditions de vie extrêmes.

Question : partager le même menu présente-t-il une difficulté en raison des goûts et des cultures ? Le choix des équipages et leurs motivations peuvent laisser penser que ces questions sont secondaires pour peu que l'on tienne compte au minimum des différences culturelles dans le choix des menus.

IV - B) La convivialité :

la prise en commun des repas est un moment privilégié pour être ensemble, moment de détente, d'échanges.

Plusieurs organisations des repas sont possibles :

- Tous les repas sont pris ensemble (si possible et en fonction des activités).
- L'équipage prend un repas par jour en commun au minimum.

Les photos des repas prises dans l'ISS montrent l'ensemble de l'équipage. Dans Mars

500 les repas sont également pris en commun excepté pour la personne de garde.

Améliorer l'ordinaire avec les produits de la serre : l'effet est plus psychologique que nutritionnel en raison des faibles ressources de la serre dans le module ainsi que des qualités nutritives des produits cultivés.

Dans Mars 500 tous les 15 à 20 jours environ une salade fait partie du menu : elle est composée uniquement de produits frais issus de la serre. Le besoin psychologique de toucher des plantes apporte un réconfort. Le manque de verdure, de nature est une des remarques qui revient le plus souvent dans les frustrations évoquées par les équipages. Cultiver des plantes aromatiques par exemple, permet d'améliorer l'ordinaire. Dans le cadre de l'école "Alain Ducasse Formation" ont été imaginés des plats élaborés uniquement avec les produits de la serre.

Les boissons : En dehors des besoins en eau aucune boisson gazeuse ne peut a priori être consommée si on est en condition d'apesanteur pour des questions d'évacuation des gaz de l'estomac.

Garder l'alcool pour des événements festifs ou exceptionnels.

IV - C) Aspects culturels :

La nourriture a-t-elle la même importance dans toutes les cultures ? Non, mais c'est un besoin primaire . Le nombre de repas par jour et leur composition a-t-il une importance culturelle, conviviale, sociale, physiologique ? Le parti de 5 repas par jour a été adopté par plusieurs organisations pour des raisons physiologiques plus que culturelles.

La composition des menus n'est pas la même dans toutes les cultures selon le repas de la journée (petit déjeuner "à l'anglaise") plus copieux le soir ou le midi,...) Ce point a-t-il une importance dans le contexte d'un vol spatial ?

IV - D) La psycho nutrition ou les aliments du cerveau :

Il est reconnu que le mental est indispensable à la qualité des performances physiques. D'autre part se sentir bien physiquement favorise un bon mental. Les modalités alimentaires permettent d'optimiser les fonctions cérébrales. La nutrition est un producteur d'énergie. Elle a une action sur le métabolisme et une influence sur la synthèse réalisée par les «neurotransmetteurs».

Parmi les qualités psychologiques dont doivent faire preuve les spationautes sont la motivation, la concentration, le dynamisme, la confiance en soi, la capacité à écouter son corps et à reconnaître les signaux d'alarme.

Le cerveau comporte des neurotransmetteurs, médiateurs chimiques du Système Nerveux Central (SNC). Ceux-ci jouent un rôle indispensable dans l'utilisation des apports nutritifs par l'organisme ainsi qu'à la synthèse de

molécules déjà présentes pour les transformer. Ils participent à la récupération et à la synthèse plus particulièrement du glucose et des acides aminés. C'est le métabolisme.

Le glucose et l'hypoglycémie

: *L'apport de glucose* favorise le dynamisme, augmente la vigilance et est un «outil» indispensable au travail des neurotransmetteurs. Les ressources en glucose de l'organisme se trouvent au niveau des réserves hépatiques à hauteur de 100 grs. Il faut y ajouter les apports nutritifs et la transformation d'autres constituants alimentaires en glucose. La dépense en glucose de l'organisme est importante puisque environ 150mn d'efforts suffisent à provoquer une hypoglycémie. Un déficit en glucose provoque une fatigabilité cérébrale qui se traduit par une baisse de la concentration et une sensation de faim tenace.

Les acides aminés.

Ils se situent dans les protéines alimentaires: poisson, laitages, œufs, viandes, oléagineux, soja, légumineuses, céréales complètes ... Au nombre de 20, 8 sont dits essentiels parce qu'ils ne se trouvent pas dans l'organisme et sont donc entièrement apportés par l'alimentation. Parmi ceux-ci : le *tryptophane* que l'on trouve dans les œufs, les laitages, la noix de coco et les peptides alimentaires et la *thyronine*, dont l'un des dérivés, l'adrénaline, augmente le rythme cardiaque et la pression artérielle, dilate les vaisseaux et augmente la glycémie.

Le cerveau poubelle: l'apport nutritionnel doit être en rapport avec l'activité pratiquée. En cas de mauvaise gestion du rapport activité physique / nutrition le cerveau récupère les déchets de l'organisme. Par exemple le surdosage d'ammonium dans le cerveau entraîne incohérence verbale, troubles de la motricité et de l'équilibre. Un apport trop faible en glucide provoque torpeur, baisse de motivation, difficultés de concentration.

Les *Cytokines* libérées par les muscles en cas de surmenage se transforment en Interleukine qui se répand dans tout l'organisme y compris dans le cerveau. La présence d'Interleukine au niveau cérébral entraîne apathie, manque d'appétit, perte de poids, tendances dépressives, désintérêt de la vie quotidienne, troubles du sommeil.

V) Aspects particuliers de la mission martienne :

V - A) Durée de la mission :

Plusieurs durées de missions sont prises en compte ainsi qu'un nombre variable de membres d'équipage:

- Hypothèse pour Mars Direct :

4 astronautes:

Aller : 190 jours(+/-10) + 600 jours sur place + Retour : 190 jours (+/- 10) soit au total : 980 jours

980 jours x 4 Spationautes x 5 repas/jour = 19 600 REPAS à prévoir.

Expérience Mars 500 et 6 spationautes :

520 jours x 6 spationautes x 5 repas/jour = 15 600 REPAS à prévoir.

	Nb total de jours	Nb de spationautes	Nb de repas /jour	Nb total de repas à embarquer
Mars Direct	980	4	5	19600
Mars 500	520	6	5	15600

V - B) Effets de l'absence de pesanteur :

Microgravité ou micropesanteur ?

Microgravité : en certaines régions de l'espace la gravité peut être beaucoup plus faible que la gravité terrestre. On parle alors de *microgravité*. Dans un vaisseau spatial il subsiste toujours des forces parasites donc une pesanteur résiduelle. Sa valeur est très faible, souvent comprise entre un centième et un millionième de la pesanteur terrestre. C'est-ce que l'on appelle la *micropesanteur* simplifié en général sous le vocable apesanteur ou impesanteur..

La micropesanteur entraîne des modifications de la pression sanguine veineuse essentiellement, ce qui provoque des modifications de la répartition du sang et des liquides interstitiels. Au niveau de la face du spationaute, on observe un œdème avec un épaissement des paupières aboutissant à une physionomie appelée «face à pleine lune».

Le séjour en micropesanteur entraîne : une perte nette d'eau, une baisse du volume plasmatique et une hypo-osmolarité.

La disparition des contraintes mécaniques exercées par la pesanteur sur les os et les muscles entraîne : une décalcification osseuse, des modifications de la statique de la colonne vertébrale, une fonte musculaire.

Effets secondaires de la microgravité :

L'ingestion des aliments n'est guère perturbée par l'absence de pesanteur. Se posent par contre des problèmes de conditionnement des aliments. L'absorption des liquides doit se faire par succion à partir d'un récipient fermé et souple. Les boissons sont stockées sous forme de poudre dans des récipients à soufflets munis d'une valve pour l'ingestion. De l'eau chaude ou froide y est introduite avant usage. Un inconvénient est la formation de bulles qui se mélangent à la phase liquide du bol alimentaire à l'origine d'ennuis gastriques.

La nourriture est stockée sous forme de conserves, ou lyophilisée ou surgelée. Elle est conditionnée dans des emballages faciles à ouvrir permettant éventuellement l'usage de couverts classiques.

Dans un véhicule spatial où règne l'apesanteur la vie quotidienne des astronautes s'en ressent beaucoup. Tout est compliqué : se déplacer, s'alimenter, dormir, se laver, travailler ... De nombreux élastiques et sangles retiennent les objets.

Les Russes ont mené de très nombreuses expériences au cours de vols spatiaux pour connaître les conséquences de l'apesanteur sur l'organisme humain, notamment sur le ralentissement du rythme cardiaque, la perturbation de l'équilibre, la diminution des pouvoirs immunitaires... Ils ont montré l'importance des exercices physiques lors des séjours de longue durée.

L'ensemble de ces problèmes pourrait être résolu en créant lors du voyage un champ de force équivalent à la gravité par la rotation d'un ensemble habitat et contrepoids reliés par un câble.

V - C) Masse de nourriture et eau embarquée:

Dans l'ISS la masse de nourriture embarquée est de 1,7kg par personne et par jour. Pour une voyage vers Mars de 6 astronautes et pour 3 ans Jean-François Clervoy parle de 18 tonnes de nourriture et entre 9 et 10 tonnes d'eau. Certains parlent d'envoyer des conteneurs sur la planète rouge avant l'arrivée des astronautes, quand d'autres estiment cela impossible. Les apports de produits frais seront une mince solution pour la question de la masse de nourriture.

L'objectif après Mars 500 est de trouver les aliments qui pourront se garder longtemps à la température ambiante.

Besoins en eau : selon les estimations de la NASA les besoins sont de 4 kg par jour et par personne en eau potable recyclée à 80 %, et de 26 kg par jour et par personne en eau de lavage recyclée à 90 %. Pour un voyage de 200 jours la masse totale d'eau est estimée à 2080 kg.

V - D) Conservation des aliments.

Parmi les méthodes de conservation longue durée des aliments susceptibles d'être utilisées pour une mission martienne on peut citer :

La *congélation - surgélation* : la congélation consiste à refroidir les aliments jusqu'à - 15 / - 20 °C et à les maintenir à cette température. La surgélation est une technique de congélation très rapide jusqu'à - 18 °C et conservation à - 18 / - 20 °C.

La *lyophilisation* : technique de déshydratation sous vide qui consiste en une congélation brutale à - 40 / - 80 °C suivie d'une sublimation de la glace sous vide.

L'appertisation ou stérilisation (mise en conserve) : traitement entre 115 et 120 °C des aliments (viandes, poissons, légumes, fruits ...) dans des emballages étanches.

L'irradiation : consiste à exposer les aliments à des rayonnements ionisants afin de détruire les microorganismes, bactéries, moisissures, centres de germination ...

Techniques d'irradiation :

- Ionisation bêta : irradiation par faisceau d'électrons ($E < 10 \text{ MeV}$).

- Rayonnement gamma : on utilise le rayonnement produit par des radio-isotopes, Cobalt 60 ou Césium 137 .

- Rayonnement X ($E < 5 \text{ MeV}$)

Les produits à irradier, conditionnés dans leur emballage final, sont regroupés dans des conteneurs métalliques, placés sur un tapis roulant et passent lentement dans la cellule d'irradiation. .

Important : les aliments soumis à ces rayonnements ne deviennent en **aucun cas radioactifs**.

Ordre de grandeur des doses atteintes dans l'espace

Navette spatiale : 0,1 mSv par jour

MIR : 1 mSv par jour

Mission lunaire : quelques centaines de mSv

Mission vers Mars : 1 à 2 Sievert. Sur Mars : 120 mSv par an.

Les produits alimentaires stockés dans le véhicule spatial reçoivent à peu près les mêmes doses que les astronautes et il n'y a donc aucune conséquence pour ces produits.

V - E) Conditions dégradées :

En se limitant à la problématique «Santé - Nutrition» d'un voyage AR Terre - Mars, les conditions dégradées qu'il convient de considérer sont de deux ordres : celles d'ordre technique et leurs conséquence sur ce sujet, celles sur le sujet alimentation proprement dit.

Aspects techniques : il est difficile d'imaginer tous les dysfonctionnements d'ordre technique qui pourraient avoir des conséquences sur le sujet «Santé - Nutrition». Nous en évoquerons seulement quelques uns :

- Régulations inopérantes ou partiellement inopérantes en matière de climatisation à bord : froid excessif ou chaud excessif. Dans les deux cas la question se posera des dispositions à prendre en termes d'hydratation / déshydratation des organismes humains.

-Panne du système de recyclage d'eau. La quantité d'eau embarquée étant forcément inférieure aux besoins totaux de la mission pour des questions de masse, la fiabilité (et les redondances) dans le système de recyclage de l'eau sont fondamentales. Une panne de recyclage serait catastrophique.

- Décalage important dans le temps de la mission . Cela nécessite de prévoir des quantités de nourriture en excès lors du départ du vaisseau.

- Des conditions à bord ou sur Mars ne permettant pas aux astronautes d'utiliser des éléments de nutrition autres que des produits secs ou lyophilisés.

Aspects propres à l'alimentation :

- Du fait de la mauvaise conservation de certains produits impossibilité de préparer certains plats. Cas par exemple des plats exotiques imaginés par les membres de l'équipage avant le départ.

- Carences alimentaires apparaissant chez certains au cours du voyage. En effet l'assimilation de certains oligo-éléments et de certains minéraux est pour partie due au métabolisme de l'individu mais aussi à son état psychique.