



2012

# Rapport Bibliographique: Santé/Nutrition Spatiale

En vue d'un voyage vers Mars



Un repas dans l'ISS (doc. CNES)

Commission nutrition

[www.planete-mars.com](http://www.planete-mars.com)

01/09/2012

# RÉSUMÉ

Cette étude bibliographique concernant les aspects nutritionnels fait référence à une demande de l'association Planète Mars lors de la tenue annuelle de l'une de ses AGO (assemblée générale ordinaire) dans le cadre du développement de ses activités. Cette thématique a été approuvée par la suite en CA (conseil d'administration).

L'étude présentée ne prétend pas proposer un recensement exhaustif des différentes expériences acquises de nutrition en environnement clos, comme le ferait un annuaire spécialisé ou un rapport d'expertise. Toutefois, elle s'attache à fournir un certain nombre d'informations de base et de relais afin d'orienter les utilisateurs de cette étude et de faire découvrir aux membres de Planète Mars un sujet important qui est la nutrition, pour les vols spatiaux habités. Les nombreuses informations diffusées dans ce rapport résultent de nombreux échanges et réflexions de la commission nutrition au cours des participations à ses divers ateliers (2010-2011) à partir de ces expériences.

## **Mots clés:**

psycho nutrition - choix des menus - aspects culturels - convivialité- environnement clos - conservation des aliments en environnement irradié - micropesantier - pesantier.

## **Titre:**

Etudes bibliographiques - Santé/nutrition spatiale en vue d'un voyage vers Mars

Ont participé à la commission nutrition et à la rédaction de ce document:

Alain Pouvreau, Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Dominique Ledevin, Liam Fauchard

## **TABLE DES MATIÈRES**

<b><i>Thématique n°1: Apports nutritionnels</i></b>	
<b><i>Bases théoriques élémentaires de la nutrition de l'être humain</i></b>	<b><i>p.8</i></b>
<b><i>Problématique nutritionnelle des astronautes</i></b>	<b><i>p.15</i></b>
<b><i>Conclusion</i></b>	<b><i>p.18</i></b>

<b><i>Thématique n°2: Standards nutritionnels</i></b>	
<b><i>Rythme des repas</i></b>	<b><i>p.19</i></b>
<b><i>Besoins en eau</i></b>	<b><i>p.19</i></b>

<b><i>Thématique n°3: Expériences de nutrition acquises en environnement clos et gestion des risques</i></b>	
<b><i>Sous-marin</i></b>	<b><i>p.20</i></b>
<b><i>MIR/ISS</i></b>	<b><i>p.22</i></b>
<b><i>Les mineurs chiliens</i></b>	<b><i>p.29</i></b>

<b><i>Thématique n°4: Aspects psychologiques de la nutrition</i></b>	
<b><i>Choix des menus</i></b>	<b><i>p.30</i></b>
<b><i>Convivialité</i></b>	<b><i>p.31</i></b>
<b><i>Aspects culturels</i></b>	<b><i>p.32</i></b>

<i>Psycho-nutrition</i>	<i>p.33</i>
-------------------------	-------------

<b><i>Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne</i></b>	
<i>Effets des choix de pesanteur (artificielle ou 0 g)</i>	<i>p.35</i>
<i>Conditions dégradées</i>	<i>p.45</i>
<i>Conservation des aliments</i>	<i>p.47</i>
<i>Durée de la mission</i>	<i>p.50</i>

---

# Thématique n°1: Apports nutritionnels

---

## Thématique n°1: Apports nutritionnels

\*\*\*\*\*

**Bases théoriques élémentaires de la nutrition de l'être humain et problématiques alimentaires et nutritionnelles de l'astronaute dans le cadre d'un voyage de longue durée**

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Alain Pouvreau

### SOMMAIRE

#### I. Bases théoriques élémentaires de la nutrition de l'être humain

##### **I.1. Pourquoi et comment mangeons-nous ?**

##### **I.2. La composition du corps humain**

##### **I.3. Les Nutriments**

###### I.3.1. Les Macronutriments

###### **I.3.1.1. Les Glucides.**

###### **1) Définition**

- 2) Sucres simples
- 3) Sucres complexes
- 4) Sources
- 5) Notion d'index glycémique (IG)
- 6) Besoins
- 7) Rôles

#### **1.3.1.2 Les Lipides**

- 1) Définition
- 2) Les bons et les mauvais lipides
- 3) Besoins
- 4) Sources
- 5) Rôles

#### **1.3.1.3. Les Protides**

- 1) Définition
- 2) Sources
- 3) Qualité
- 4) Besoins
- 5) Rôles

### I.3.2. Les Micronutriments

#### **1.3.2.1. Les vitamines**

#### **1.3.2.2. Les sels minéraux**

#### **1.3.2.3. Les oligo-éléments :**

#### **1.3.2.4. Les phytonutriments :**

### **I.4. Les besoins nutritionnels du corps humain**

#### I.4.1. Besoins plastiques (ou structurels)

#### I.4.2. Besoins fonctionnels

#### I.4.3. Besoins énergétiques

### II. Problématique nutritionnelle des astronautes.

#### **II.1. Besoins nutritionnels des astronautes.**

#### **II.2. Contraintes "psycho-socio-émotionnelles".**

#### **II.3. Contraintes matérielles.**

### CONCLUSION

## I. Bases théoriques élémentaires de la nutrition de l'être humain

### **I.1. Pourquoi et comment mangeons-nous ?**

- \* Facteurs influençant nos choix alimentaires (ordre arbitraire)
  - 1- plaisirs des sens : goût / vue / odorat / toucher
  - 2- recherche de la convivialité (plaisir du partage entre amis ou en famille)
  - 3- culture familiale héritée et culture personnelle acquise
  - 4- aspect pratique de la préparation
  - 5- effet de mode et influences publicitaires
  - 6- coût
  - 7- saisonnalité
  - 8- ensemble des représentations : prestige/exotisme/aspects santé / idéologie (bio-environnement)
- \* Motivation principale de l'alimentation = recherche du plaisir
  - => plaisirs des sens : vue, odorat et bien sûr le goût.
  - => plaisir social du partage : qui apprécie de manger tout(e) seul(e) ?

**Mais la vrai et unique raison de manger  
est de répondre aux besoins nutritionnels du corps.**

### **I.2. La composition du corps humain**

- \* Composants majoritaires :
  - \* eau : 65 à 70 %
  - \* Protides (protéines des muscles / hormones) : 15 à 20 %
  - \* Lipides ou graisses (tissu adipeux / tissu nerveux / toutes les membranes) : 15 à 20 %
- \* Composants minoritaires :
  - \* Glucides
  - \* Sels minéraux

### **I.3. Les Nutriments**

\* Définition : Les nutriments, éléments biochimiques, sont les composants (les briques) de toute notre alimentation.

Remarque : Cependant, notre alimentation (du point de vue du mangeur) est constituée de plats, eux-mêmes constitués d'aliments.

- \* 2 catégories de nutriments :
  - 1) Macronutriments = glucides, lipides, protides
  - 2) Micronutriments = vitamines, sels minéraux, oligoéléments, phytonutriments

Remarques :

- 1) l'alcool se classe dans les macronutriments mais n'a à ce jour aucun intérêt vital indispensable reconnu par la science.

2) l'eau n'est pas un nutriment. Il n'existe pas de métabolisme de l'eau. Car l'eau est partout (ou presque). Et sans eau, aucun métabolisme ne pourrait se faire. Nous pouvons vivre longtemps sans nutriments (plus d'un mois en moyenne), mais guère plus de 10 jours sans eau.

### I.3.1. Les Macronutriments

#### **I.3.1.1. Les Glucides.**

##### 1) Définition

- \* Ensemble de molécules comestibles au goût sucré
  - \* Autres noms : Sucres / Oses / Hydrates de carbone / Saccharides
  - \* On distingue biochimiquement les "sucres simples" des "sucres complexes" .
  - \* On distingue d'un point de vue métabolique les "sucres lents" des "sucres rapides".
- Cependant, si cette terminologie existe toujours, il est préférable de parler de sucres à index glycémique élevé ou bien à index glycémique bas.
- \* l'index glycémique est un nombre relatif (compris entre 0 et 100)

traduisant la vitesse de digestion puis d'assimilation de l'aliment sucré testé par l'intestin, donc de son passage dans le sang. (cf page 6)

- \* Les sources principales sont les fruits et les féculents (tubercules, céréales, légumineuses, et racines)

##### 2) Sucres simples

- \* Glucose =  $C_6H_{12}O_6$

existe peu à l'état naturel : sang, raisin non mûr, miel (par décomposition progressive du saccharose) unique sucre utilisable par certaines cellules de notre corps telles les neurones et globules rouges.

- \* Fructose

Fruits, miel

2 fois le pouvoir sucrant du glucose

Aucune influence sur la glycémie (donc sur le pancréas)

Parfois mal toléré par l'intestin (fragile)

- \* Galactose

un des constituants du lactose du lait

6 fois moins sucrant que le glucose

Ces 3 sucres sont les seuls assimilables par l'intestin, mais seul le glucose est utilisable par les cellules. Les 3 suivants doivent être scindés lors de la digestion pour être absorbés.

- \* Lactose

- Source : sucre du lait

- Formule : Glucose-Galactose

- \* Maltose

- Source : orge germé ou malt

- Formule : Glucose-Glucose

- \* Saccharose

- Sources d'origine végétale : Betterave et canne à sucre / miel

- Formule : Glucose-Fructose

### 3) Sucres complexes

\* Glycogène :

- Polymère du glucose
- Forme de stockage du glucose chez les animaux (foie et muscles), mais stocks limités (200g max dans le foie, et 400g max dans les muscles d'un sportif, soit seulement 600g en tout).

\* Amidon :

- Polymère du glucose
- Forme de stockage du glucose chez les végétaux : céréales, pommes de terre, manioc, légumineuses, quelques fruits (bananes, châtaignes).

\* Fibres :

- Polymère du glucose
- Cellulose, Hémicellulose, Lignine plutôt dans les légumes et Pectine (très hydrophile) plutôt dans les fruits (et carotte).
- Leur teneur varie en fonction du végétal, et de son âge.
- Non digestibles par l'Homme, mais dégradées partiellement par les bactéries de la flore bactérienne intestinale
- Intérêt : régulation du transit intestinal et indirectement de la glycémie.

### 5) Notion d'index glycémique (IG) :

\* Lié à synthèse de l'insuline pancréatique (suite à l'augmentation post-prandiale de la glycémie)

\* Définition : paramètre d'évaluation de l'intensité de la stimulation de la synthèse de l'insuline pancréatique. La référence est le glucose dont l'IG est fixé à 100.

\* Intérêt : meilleure définition de la différence entre sucres lents et sucres rapides

Tableau : IG de quelques aliments

	Teneur en Glucides g/100g	dont Fibres	dont Autres	IG
Glucose	100	0	100	100%
Carottes	12,4	3,7 pectine	8,7 glucose et	92%

			saccharose	
Banane	22,5	2	20,5 amidon	62%
Pomme	15,1	2,5 pectine	12,6 fructose	39%
Chocolat	50 à 65	0	50 à 65	30%
Soja en grain	39,5	4,5 cellulose	35 amidon	15%

\* Facteurs d'influence : 1) IG ↑ avec le temps de cuisson; 2) IG ↑ avec le degré de découpage; 3) IG ↑ avec l'absorption des protéines; 4) IG ↓ avec l'absorption des lipides et des fibres.

#### 6) Besoins

- 50 à 60% de la ration alimentaire énergétique conseillée journallement selon dépense physique ou de croissance (4 à 6g/kg/jr)
- Sucres lents de préférence 90% (Attention au mode de préparation qui peut transformer un sucre lent en sucre rapide : exemple des "Pommes de terre cuites en robe des champs" = IG bas / purée mousseline = IG haut)  
Pour le mangeur, c'est toujours de la pomme de terre.

Pour le diabétique : plat autorisé pour le premier et défendu pour le second.

- Une consommation excessive d'amidon peut entraîner des fermentations et donc des ballonnements et autres désagréments (flatulences), surtout avec des légumineuses...

#### 7) Rôles

=> principalement énergétique

=> également rôle dans le système de reconnaissance intercellulaire du système immunitaire

### 1.3.1.2 Les Lipides

#### 1) Définition

- Graisses / corps gras
- Hydrophobe / moins dense que l'eau
- Cholestérol HDL et LDL / Acides Gras / Triglycérides / Phospholipides
- On distingue les acides gras saturés (AGS) des insaturés (AGI)
- Les AGE ou Acides Gras Essentiels (classe oméga 3 et oméga 6) sont les acides gras que le corps ne peut synthétiser. Ceux-ci doivent impérativement être apportés par l'alimentation.

## 2) Les bons et les mauvais lipides

- Les Bons : ceux dont le corps a nécessairement besoin (AG poly-insaturés: certains "oméga 3" et "oméga 6") car il ne sait pas les synthétiser.
- Les Mauvais : ceux dont il peut se passer car synthèse possible et apportés souvent en grande quantités par l'alimentation
- Remarque : Notion également liée à la quantité. « Entre le trop et le trop peu, il y a beaucoup de place pour le raisonnable. »

## 3) Besoins

- 30 à 35% de la ration alimentaire énergétique conseillée journallement (1g/kg/jr)
- 25% saturés / 50% mono-saturés / 25% polyinsaturés

## 4) Sources

- Sources végétales : huiles : tournesol, maïs, arachide, olive, colza, soja,... ; margarines ; amandes, noisettes
- Sources animales : produits laitiers : beurre, crème fraîche, fromages,... ; viandes : porc, agneau, bœuf (steak haché) ; volailles : oie, pintade, canard ; poissons : saumon, sardine, hareng, anguille,... charcuterie
- Sources cachées : viennoiserie, pâtisserie

## 5) Rôles : 3 rôles

- 1- Tissus adipeux = Réserve énergétique du corps
- 2- rôle structurel (ou plastique) : présents dans les membranes des cellules = interface de toutes les communications cellulaires ; SNC (dont cerveau) = 60% de lipides
- 3- rôle métabolique : AGE sont précurseurs des voies de synthèse des médiateurs immunologiques. Ils interviennent aussi dans la communication intercellulaire

### 1.3.1.3. Les Protides

#### 1) Définition

- molécules constituées d'acides aminés (AA) = 20 dont 8 essentiels (non synthétisables par l'homme)
- Notion de valeur biologique d'un aliment: nature des AA contenus dans l'aliment
- Exemples : albumine et vitelline de l'œuf, caséine et lactalbumine du lait, myosine du muscle, hémoglobine du sang, gluten et gliadine du blé. Les hormones sont majoritairement de nature protéique (hormis celles issues du cholestérol)
- Remarque : seul nutriment indispensable à court terme car est l'élément essentiel d'expression du code génétique.  
(code génétique : information permettant de synthétiser toutes les enzymes)

#### 2) Sources

- Sources végétales : légumineuses (20 à 25% en masse / inconvénient : peu ou pas de méthionine): pois, lentilles, haricots, fèves, soja (40 / HVB) : céréales (10 à 14% en masse / inconvénient : peu ou pas de lysine) : maïs, blé, orge, avoine, millet, riz (7% / sans gluten), sarrasin (sans gluten), épeautre

- Sources animales : produits laitiers (3 à 20%), viandes (20 à 30%), poissons (15 à 20%), fruits de mer (10%), œufs (7% dans le blanc)

### 3) Qualité : Protéines animales contre Protéines végétales.

- Liée à la possession des 20 AAs
- céréales : manque de lysine / légumineuses : manque de méthionine
- d'où les associations traditionnelles observées : riz-pois / couscous-pois chiche / maïs-haricot rouge
- soja, quinoa : riche en qualité et quantité
- Remarque : sauf exception, protéines animales sont de qualité supérieure aux protéines végétales

### 4) Besoins

- autour de 15% de la ration alimentaire énergétique conseillée journallement (0,8 à 1g/kg/jr)
- idéalement : 50% d'origine végétale / 50 % d'origine animale

### 5) Rôles : 2 rôles

- 1) rôle structurel (ou plastique) : tissus musculaires
- 2) rôle métabolique : les enzymes sont des protéines, de même que la majorité des hormones.

## I.3.2. Les Micronutriments

Je me contenterai ici de définir les catégories.

### **1.3.2.1. Les vitamines :**

\* Molécules biochimiques (à base de carbone) que notre corps ne sait pas synthétiser et indispensables à son fonctionnement.

=> toute carence prolongée induit l'apparition de symptômes cliniques.

\* On distingue :

- les liposolubles (solubles dans les graisses) = A, D, E et K
- les hydrosolubles (solubles dans l'eau et le sang)  
= groupe B (B1, B2, B3 ou PP, B5, B6, B8, B9 et B12), et C

\* Rôle essentiellement fonctionnel

### **1.3.2.2. Les sels minéraux**

\* Éléments de nature minérale présents dans notre corps en "assez" grande quantité. Leurs besoins journaliers s'expriment au minimum en dizaines de milligrammes (jusqu'au gramme pour le calcium).

\* Sodium (Na), Potassium (K), Calcium (Ca), Phosphore (P), Magnésium (Mg), Fer.

\* Rôle principal fonctionnel (direct ou indirect en tant que cofacteur enzymatique) mais également structurel pour certains (calcium, phosphore).

### **1.3.2.3. Les oligo-éléments :**

\* Éléments de nature minérale présents dans notre corps en petite, voire très petite quantité et leurs besoins journaliers s'expriment en microgramme.

\* Les principaux = Zn, Cu, Cr, Mn, Se

\* Les secondaires = I, Va, Co, F, Si, As, Br, Li

\* Rôle principal fonctionnel (direct ou indirect en tant que cofacteur enzymatique)

#### 1.3.2.4. Quelques AJRs admis pour l'adulte :

Minéraux / Oligo-éléments		Vitamines			
		Liposolubles		Hydrosolubles	
Sodium	1,5 g				
Calcium	900 mg	A	0,7 mg	B1	1,2 mg
Phosphore	800 mg	D	10 mg	B2	1,5 mg
Magnésium	350 mg	E	12 mg	B3 ou PP	15 mg
Fer	10 à 20 mg	K	40 microg	B6	2,1 mg
Cuivre	2 mg			B12	2,5 microg
Iode	150 microg			C	80 mg

#### 1.3.2.5. Les phytonutriments :

\* Eléments de nature biochimique, présents dans les végétaux, et ayant un rôle protecteur relativement à certaines pathologies tels les cancers.

\* Si ce terme de "phytonutriment" est relativement récent, l'usage des plantes en termes médicaux remontent de quelques millénaires en arrière

#### I.4. Les besoins nutritionnels du corps humain

Notre corps a besoin d'être nourri pour répondre à 3 besoins vitaux :  
(par ordre d'importance selon moi)

- 1) le besoin plastique ou structurel
- 2) le besoin fonctionnel
- 3) le besoin énergétique

##### I.4.1. Besoins plastiques (ou structurels) :

=> assurés principalement par les lipides et protides

(certains sels minéraux sont également indispensables : calcium, phosphore, silicium)

\* 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 structurels sont en renouvellement permanent : les hématies (ou globules rouges) ont une durée de vie de 120 jours ; les cellules réceptrices des odeurs (situées dans le nez) et les cellules de nos intestins de quelques jours (moins de 5 jours) ; les enzymes de quelques minutes voire de quelques secondes, estimation de 10 ans pour renouveler entièrement le corps humain.

##### I.4.2. Besoins fonctionnels :

=> protides, lipides et micronutriments (vitamines, sels minéraux, oligoéléments)

\* Métabolisme : ensemble des réactions catalysées (favorisées) par des enzymes de nature protéique : l'activité de ces enzymes nécessitent des cofacteurs (micronutriments) non synthétisés par nos cellules, donc devant être apportés par l'alimentation.

\* Régulation et communication : les hormones sont des molécules de nature essentiellement protéique pour la plupart, mais il en existe aussi d'origine lipidique (hormones sexuelles); certaines molécules dont le rôle est primordial nécessitent des précurseurs essentiels pour leur synthèse (la rhodopsine qui permet la vision est synthétisée à partir de la vitamine A).

\* Communication nerveuse : son bon fonctionnement dépend de sels minéraux tels que le Magnésium, le Calcium, le Sodium et le Potassium.

\* Système immunitaire : sa régulation est dépendante, entre autres, du bon équilibre de lipides essentiels (acides gras "oméga 3" et "oméga 6").  
Exemple : trop d' "oméga 6" favorise l'inflammation.

#### I.4.3. Besoins énergétiques :

=> lipides et glucides.

\* Notre énergie est apportée essentiellement par les lipides et les glucides

\* Les protides peuvent servir de sources d'énergie quand les réserves de glucides sont basses ou épuisées

\* Notre cerveau et les globules rouges du sang ne peuvent utiliser que du glucose

\* Les glucides peuvent libérer leur énergie plus vite que les lipides

\* Nos réserves en glucides (sous forme de glycogène) sont faibles : 200 gr au maximum dans le foie, et 400 gr au maximum dans les muscles)

\* Nos réserves en lipides (dans le tissu graisseux ou adipeux de notre corps) sont importantes (entre 15 et 20 % du poids de notre corps en moyenne, soit de 5 à plus de 10 kilogrammes pour la majorité d'entre nous.)

Remarques : \* Il est donc possible de proposer un régime (mode alimentaire) répondant aux besoins énergétiques, sans pour autant répondre ni aux besoins structurels, ni aux besoins fonctionnels.

\* En revanche, proposer un régime qui répond aux besoins structurels et fonctionnels répondra nécessairement, et au moins en partie, aux besoins énergétiques.

## II. Problématique nutritionnelle des astronautes.

A ce jour, j'ai identifié 3 types de contraintes :

- 1) les besoins nutritionnels des astronautes
- 2) les contraintes psycho-socio-émotionnelles
- 3) les contraintes matérielles

### **II.1. Besoins nutritionnels des astronautes.**

Cette contrainte est la plus facile à lever si l'on calque ces besoins sur ceux d'un homme ou d'une femme en situation normale, ou sur les besoins des sportifs lors des sorties extravéhiculaires.

Cependant, est-ce suffisant à long terme ?

Toute alimentation dite équilibrée doit répondre aux besoins nutritionnels des astronautes, pas d'hommes ou femmes vivant sur terre...

Le problème est, évidemment, que nous ne les connaissons pas précisément.

Comme nous l'avons vu, ces besoins sont de trois types : structurels, fonctionnels et énergétiques.

Les plus simples à évaluer sont les besoins énergétiques. Et les autres ?

La question principale est celle-ci : **existe-t-il une alimentation spécifique de l'astronaute**, c'est-à-dire permettant à son corps d'éviter les effets néfastes de l'apesanteur sur sa santé, s'il n'y a pas de pesanteur artificielle pendant le voyage. Je pense en particulier à la décalcification osseuse, et à la problématique cardiovasculaire.

**Par ailleurs, la vie dans une navette spatiale soumet l'astronaute à 2 autres contraintes physiques : les rayonnements cosmiques ionisants et l'absence d'exposition à la lumière naturelle. En effet, celle-ci influence la synthèse de la vitamine D et celle de la mélatonine.**

Aussi, devons-nous également tenir compte de l'impact de ces contraintes sur les apports nutritionnels.

Enfin, le cerveau a ses humeurs que la raison connaît bien.

Or, le cerveau a évidemment des besoins nutritionnels spécifiques. Ainsi un cerveau "mal" nourri est plus sujet aux troubles de l'humeur. Par exemple, d'un point de vue énergétique, considérons que le cerveau ne se "nourrit" que de glucose (ne tenons pas compte des corps cétoniques). Alors la baisse de la glycémie peut entraîner son dysfonctionnement avec les symptômes que nous connaissons tous : maux de tête, sensation de fatigue cérébrale, étourdissements pouvant aller jusqu'à l'évanouissement.

Autre exemple : le fonctionnement du cerveau repose sur des neuromédiateurs de nature protéique. Un déséquilibre de la ration protéique peut donc lui aussi perturber son fonctionnement.

Ainsi, l'équilibre des apports en acides aminés et les rythmes biologiques cérébraux (réglés notamment par les Dopamine / Noradrénaline / Sérotonine) devront être respectés.

Et ceci d'autant plus que le facteur stress agit sur la sécrétion des neuromédiateurs. Or nous pouvons vraisemblablement considérer, sans faire trop d'erreur, que la vie dans l'espace (aujourd'hui) génère du stress.

## **II.2. Contraintes "psycho-socio-émotionnelles".**

Pendant combien de jours accepteriez-vous de manger de la purée, quel qu'en soit le goût et la couleur ?

L'alimentation des astronautes sur une longue période se doit donc d'être la plus proche possible d'une alimentation normale, au sens culturel du terme.

Cela inclut également la variété. Vous aimez le poulet rôti ? Moi aussi. Mais pendant combien de jours de suite accepteriez-vous de manger uniquement du poulet rôti ?

Cet aspect est évidemment pris en compte par les agences spatiales. Mais à quoi ressemblent exactement la nourriture des astronautes actuels ?

(Personnellement, je ne me suis pas encore renseigné complètement sur cet aspect. Si vous avez des infos récentes et précises, je suis preneur.)

Et n'oublions jamais, qu'au delà des besoins strictement physiologiques, l'alimentation doit rester source de plaisir...

## **II.3. Contraintes matérielles.**

Les contraintes matérielles sont les éternelles contraintes de volume et de poids.

Et celles-ci prennent une dimension particulière en ce qui concerne l'eau. Car pas question de la déshydrater... 😊

Un petit calcul ?

Admettons une ration d'un litre d'eau par jour (ration minimale en dessous de laquelle il ne faut descendre) et par personne, et un voyage spatial de 5 personnes pendant une année. Quel volume et quelle masse d'eau (le poids quant à lui avoisine les 0, faute de gravité) faut-il prévoir?

Réponse :  $m = 5 \times 1 \times 365 = 1825 \text{ kg}$ , soit près de 2 tonnes (1,825 t)

$$v = 2 \text{ m}^3 \text{ (1,825 m}^3\text{)}$$

Ces chiffres peuvent nous paraître modestes. Certes.

Mais n'oublions pas d'ajouter à ceux-ci la quantité d'eau à prévoir pour la réhydratation de certains aliments, plus celle pour la toilette, même spartiate, et ces quantités commencent à prendre de l'importance en terme de coût énergétique pour élever cette masse hors de la gravité terrestre, d'où l'appel à des techniques de recyclage en général.

## CONCLUSION

A l'évidence, l'Homme n'est pas fait (à ce jour...) ni pour vivre, ni pour voyager trop longtemps dans l'espace.

Les contraintes alimentaires et nutritionnelles sont réellement importantes, car elles impacteront bien évidemment sur la santé et le bien-être de nos astronautes, et en conséquence, sur l'efficacité de la réalisation de leurs tâches.

Ajoutons à cela les contraintes liées aux aspects médicaux, plus les contraintes psychologiques, et attendons-nous à certaines difficultés de la part des politiques décisionnaires pour financer les recherches nécessaires à ces premiers voyages.

Personnellement et à ce jour, je n'ai encore jamais lu ni de bande dessinée, ni de roman abordant cet aspect jugé vraisemblablement basement matériel.

Quant on sait quelle formidable source d'inspiration pour la science et la technologie peuvent représenter ces univers imaginaires, c'est à regretter qu'aucun auteur ne se soit penché concrètement sur ce problème.

Cependant, reconnaissons leur le fait (merci entre autre à Stanley Kubrick) que la création d'une gravité artificielle à bord des vaisseaux faciliterait grandement la tâche. Mais combien de temps devons-nous attendre cette technologie ?

En attendant, à nous d'imaginer une cuisine (c'est-à-dire un ensemble de techniques culinaires) et une gastronomie de l'espace.

En nous rappelant que dans une vie de 75 ans, nous faisons entre 75000 et 100000 repas, ce qui représente une durée comprise entre 3 et 4 ans de notre temps de vie éveillé. Cela mérite donc que nous nous y attardions quelque peu...

Je vous souhaite bon appétit.

---

# Thématique n°2: Standards nutritionnels

---

## Thématique n°2: Standards nutritionnels

\*\*\*\*\*

**Bases théoriques élémentaires de la nutrition de l'être humain et problématiques alimentaires et nutritionnelles de l'astronaute dans le cadre d'un voyage de longue durée**

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Christophe Vaglio

### **A )- RYTHME DES REPAS**

Ce sujet est abordé de manière introductive dans la thématique n°4 choix des menus, convivialité.

### **B) - BESOINS EN EAU**

Selon une étude issue du Professeur Gilles Nedelec citée en références bibliographiques thématique n°4.

1- Pour le vol de retour:

Le ERV doit, durant le voyage de retour d'une durée de 200 jours, alimenter et abreuver 4 personnes; Nourriture, oxygène, eau: 3,4 Mg

Pour l'eau, les chiffres sont, selon la NASA: de 4.0 kg/personne/jour recyclés à 80% pour l'eau potable, et de 26.0 kg/personne/jour recyclés à 90% pour l'eau de lavage. Pour 200 jours, la masse d'eau potable reste négligeable et la masse totale d'eau est de 2080 kg.

2- Pour l'aller:

Le TASH doit, durant le voyage d'aller d'une durée de 200 jours, alimenter et abreuver 4 personnes en plus de fournir la nourriture à l'équipage durant le séjour de 600 jours (l'eau sera fournie par le générateur à méthanation durant le séjour).

Nourriture, oxygène, eau: 7.0 Mg

Pour l'aller, les chiffres sont les mêmes soit 2240 kg pour l'oxygène et l'eau.

---

# Thématique n°3: Expériences acquises de nutrition en environnement clos

---

## Thématique n°3: Expériences acquises de nutrition en environnement clos

\*\*\*\*\*

### Les apports des conditions de vie à bord des sous-marins

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Liam Fauchard

Ont participé au groupe de travail: Liam Fauchard, Jean Delaplace, Christophe Vaglio

#### Avant-propos

Dans le cadre des recherches que nous avons mené collectivement sur le sujet, et pour la partie qu'il m'incombe de produire, je pense qu'il est néanmoins utile de situer nos réflexions dans un contexte global, celui du voyage AR vers Mars pour une durée de 18 mois, avec les conséquences induites par le confinement, la promiscuité, la nouveauté de la situation.

---

#### LES APPORTS DES CONDITIONS DE VIE A BORD DES SOUS-MARINS

##### Avant la plongée

Ce que j'ai retenu : dans un SNLE [\*\*], l'équipage sait qu'il part pour 70 à 80 jours et qu'il ne sera pas possible de communiquer avec la terre – confidentiel défense – pendant cette période, sauf cas exceptionnel. La préparation au « voyage » est donc diligentée à la fois d'un point de vue technique – il ne faut rien oublier -, que d'un point de vue psychologique.

On notera cependant la notion de confiance envers ceux qui ont préparé la mission et envers l'encadrement pendant celle-ci.

L'évolution des conditions de séjour a fait qu'on est passé, pour un sous-marin classique, d'une bannette de repos dévolue à trois personnes par rotation, à une bannette de repos personnalisée dans un SNLE.

⇒ **Faudra-t-il prévoir la possibilité pour un membre de l'équipage martien de « grignoter » quelque chose à lui (à elle) dans un espace privatif ?**

#### Sur l'alimentation proprement dite

Plusieurs éléments sont à retenir pour la mission martienne : a bord d'un SNLE, certes avec un équipage bien plus important que pour le vaisseau qui ira vers Mars et en reviendra, il y a systématiquement un cuistot (et un aide) ; ce qui permet de noter qu'au bout de deux semaines, les rations de pain embarquées étant épuisées, c'est le cuistot et son commis qui font le pain eux-mêmes, voire des gâteaux.

⇒ **A retenir : la préparation de pain et de mets pourrait être un aspect qui combinerait à la fois le côté nutrition et le côté dérivatif de la monotonie du voyage.**

Apparemment, lors des plongées de longue durée, une hiérarchie de consommation des produits alimentaires s'établit : d'abord les produits frais, puis les produits surgelés, puis les produits lyophilisés.

**Lors de la mission martienne, la variété des natures alimentaires devrait être plus simple à gérer : certes les produits frais en premier – si on en embarque -, puis indifféremment les produits lyophilisés ou surgelés.**

Les fêtes calendaires sont honorées (Noël, nouvel an .....).

⇒ **Pour ce qui est l'équipage de la mission martienne qui sera sans doute multinational, il serait bon de prévoir un séquençage préalable des temps festifs pour honorer soit les différentes fêtes nationales, soit une fête commune – le 09 Mai de chaque année par exemple pour les européens -, soit une date fixée par l'ONU ou l'UNESCO pour un motif particulier ...etc...**

⇒ **Dans le même ordre d'idée, il serait judicieux de prévoir, avant le départ, que chaque membre de l'équipage sera amenée – et avec l'approbation et la consommation des autres membres – à préparer extemporanément un plat, un met ... typique de son Pays ou de sa Région. Il faudra donc prévoir les denrées en conséquences.**

[\*\*] SNLE = Sous-marin Nucléaire Lanceur d'Engins. Il s'agit de sous-marins avec moteur à propulsion nucléaire, eux-mêmes dotés de lanceurs d'ogives nucléaires.

*Les suggestions proposées viennent de déductions faites à partir de deux interviewees d'un ex-sous- marinier ayant navigué dans plusieurs types de submersibles au cours de sa carrière.*

### Thématique n°3: Expériences acquises de nutrition en environnement clos

\*\*\*\*\*

#### MIR/ISS

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Christophe Vaglio

Ont participé au groupe de travail: Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Liam Fauchard,

#### **Introduction:**

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 la microgravité sur l'organisme qui sera abordée de manière plus approfondie dans la thématique n°5 "Aspects particuliers de la mission martienne" ou liées aux conditions psychologiques du vol spatial

- **Une contrainte d'ordre technique liée à l'environnement du vol spatial.**

#### **Contraintes de l'alimentation de l'homme dans l'Espace:**

##### Contraintes liées à l'homme:

-Lorsque l'homme est placé en microgravité, il a tendance à perdre de l'eau et des éléments minéraux dans les urines. Il faudra, grâce à une **alimentation bien étudiée compenser ces pertes.**

-Lors des vols spatiaux, une déminéralisation osseuse apparaît: **il faut éviter une diététique déséquilibrée** qui vienne aggraver cette tendance.

-L'homme en état d'impesanteur perd une partie de sa masse musculaire, **son bilan azoté est négatif.** Il faut apporter **suffisamment de protides** par l'alimentation pour éviter d'aggraver ces pertes.

-La situation d'impesanteur semble modifier **le sens du goût:** Le sens gustatif des spationautes est moins sensible que sur terre.

-Le transit digestif est légèrement modifié. Il aurait une tendance à son ralentissement et **donc une constipation.**

-Lors d'un vol spatial, **c'est la prise en compte de la vie dans un milieu confiné et isolé du monde extérieur.** La consommation des repas est une des rares occasions de plaisir durant une journée de vol spatial. Il est nécessaire de préserver ce plaisir en donnant aux spationautes **des aliments à haute valeur gustative.**

Lors des vols spatiaux, lorsque l'on élabore les menus, des critères sont à prendre en compte.

##### *Critères organo-leptiques:*

On réalise des analyses sensorielles (tests de dégustation), durant lesquelles on note les aliments suivant les critères **appétence**, comprenant couleur, aspect et odeur (chacun noté de 1 à 10), et **dégustation**, comprenant saveur et texture (chacun noté de 1 à 10). Une note

inférieure à 6 pour un critère lors des analyses sensorielles est éliminatoire pour le produit (norme appliquée aux Etats-Unis).

#### *Critères diététiques:*

De manière générale, les besoins quantitatifs alimentaires des spationautes dépendent de leur taille, leur poids, leur âge, leur sexe et surtout **leur activité physique pendant le vol.**

exemple: lorsqu'un spationaute effectue une sortie extravéhiculaire en scaphandre, ses besoins nutritionnels sont ce jour là fortement augmentés (jusqu'à 29 800 kJ/24h, 7000 kcal/24h). On considère que l'apport minimum est d'environ 10 500 kJ/24h soit 2500 kcal/24h.

La règle est de répartir approximativement l'apport calorique de la façon suivante: 20% en protides, 30% en lipides, 50% en glucides.

Les besoins journaliers hydriques minimum sont de 1,5 l. Lors de fortes activités physiques, ils peuvent atteindre 4 à 5 l/j.

**En résumé, les aliments proposés aux spationautes doivent avoir une grande valeur gustative et respecter les besoins journaliers précis qui incluent les teneurs en vitamines et oligo-éléments.**

#### Contraintes liées à l'environnement spatial:

Ces contraintes doivent être respectées pour les aliments de même que pour les emballages de ces aliments selon des règles d'hygiène-sécurité- environnement.

#### *Les aliments:*

- doivent être consommés sans autre préparation qu'une opération de réhydratation et/ou de réchauffage.
- sont prédécoupés en morceaux de 15 à 20 g (portions individuelles).
- ne doivent pas polluer l'atmosphère du véhicule spatial (les plats sont semi solides, sans phase liquide dans les conditions d'utilisation).
- les aliments conditionnés sont soumis à des analyses microbiologiques et physico-chimiques avant et après des essais de conservation (conserves à pH 4,4 et plus et à pH inférieur à 4,4).
- sont testés avec leur emballage (ils doivent rester intacts après avoir été soumis à une accélération de 6G, à une pression équivalente à 50 fois la masse du produit emballé, à des pressions de 300 hPa et de 1300 hPa, à une température de 50°C et à des vibrations sinusoïdales de fréquence et d'amplitude déterminées)
- doivent rester stables dans leur état de consommation en microgravité, à une température de 16 à 30°C.
- ne doivent pas se fragmenter (aucune goutte, ni fragment solide ne doivent se détacher).

#### *Les emballages:*

- doivent accepter le réchauffage ou l'utilisation d'eau chaude pour la réhydratation à la température de 65°C.

- doivent être étanches et présenter une migration minimale du produit alimentaire dans la substance d'emballage
- ne doivent pas présenter un risque de blessure pour les spatonautes lors de leur utilisation (boîtes métalliques à ouverture facilitée).

**En règle générale, les volumes et les masses doivent être minimisés, ce qui explique que l'on utilise beaucoup les formes déshydratées.**

### **Retours d'expériences de l'évolution de l'alimentation lors de vols spatiaux américains et russes:**

#### *Vols spatiaux américains:*

- Lors des premiers vols Mercury, la nourriture était composée **d'aliments mixés et homogénéisés conditionnés en tubes et en sachets plastiques.**
- John Glenn fut le premier Américain à **se nourrir en état d'apesanteur (1962).**
- C'est sur Mercury 9 en **1963, que les premiers aliments déshydratés** ont été embarqués, ils ont été plus largement utilisés lors des vols Gemini (consommation journalière en moyenne de 2200 kcal/24h, soit environ 9200 kJ/24h).
- Le programme Apollo a apporté des améliorations dans la variété des aliments proposés avec **possibilité de réhydrater avec de l'eau chaude (65°C).** Les astronautes signalent leur préférence gustative aux aliments thermo stabilisés (conserves, liquides stérilisés...).
- Lors des missions Skylab, **des études diététiques ont été menées**, avec mesure des prises alimentaires et des éliminations des astronautes (les astronautes ont eu tendance à l'amaigrissement).
- A bord de la navette spatiale américaine, le mode d'alimentation permet de disposer **d'un plateau repas** pour chaque astronaute que l'on consomme avec des couverts. Les boissons exigent d'être prises **avec une "paille" par aspiration.**

#### *Vols spatiaux soviétiques:*

- Lors des premiers vols Vostok, les aliments étaient prêts à l'emploi et mis en tubes.
  - A partir de 1967, les Soviétiques ont utilisé les vaisseaux Soyuz, dans lesquels il existe un poste de réhydratation. Ils ont commencé à utiliser des aliments déshydratés.
  - Les stations spatiales Saliout (1 à 7) et Mir (1986-2001) ont permis de donner un peu plus de confort aux cosmonautes durant des séjours de longue durée. Il existait à bord de ces stations **un véritable "coin cuisine" avec une station de réhydratation** (eau chaude ou froide) et un four permettant de réchauffer les boîtes de conserve.
- Les spatonautes français, lors des vols habités franco-soviétique et franco-américain, ont consommé des produits français fabriqués sous le contrôle du CNES et du CERCAT (Centre d'Etude et de Recherche du Commissariat de l'Armée de Terre).**



Figure 5.1. Patrick Baudry avec le plateau repas « sur le genou » à bord de la Navette américaine Discovery (1985). (Photographie CNES).

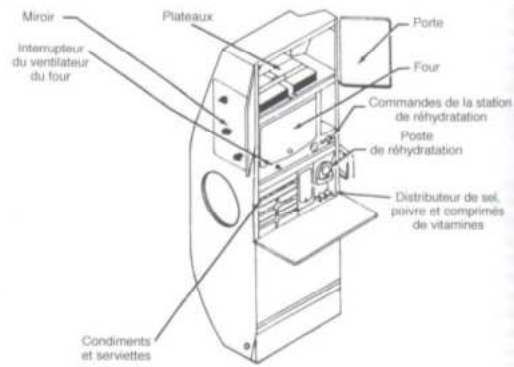


Figure 5.2. Le coin cuisine de la Navette américaine (document NASA).

Source: ouvrage "Médecine aérospatiale (deuxième édition)"  
Edition expansion scientifique publications - photo Cnes.



Figure 5.3. Jean-Loup Chrétien buvant du thé à bord de la station orbitale soviétique Saliout 7 (1982). (Photographie CNES).

Source: ouvrage " Médecine aérospatiale (deuxième édition)  
Edition expansion scientifique publications"-photo Cnes

## **ANNEXES:**

### **1) Unités de mesure de l'énergie et facteurs de conversion**

Unités:

1 calorie: 4,186 joules

1 kWh:  $3,6 \times 10^6$  joules

Facteurs de conversion:

1 tep (PCI):  $42 \times 10^9$  joules

L'unité d'énergie dans le système international est le joule (J). Pour des transformations macroscopiques, elle est très petite aussi utilise-t-on le kilojoule (kJ) ou le mégajoule (MJ). Ainsi  $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$  et  $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$ .

### **2) Les vols Mercury**

L'habitacle ou "capsule" du pilote, est en forme de cloche, avec une cabine tronconique de 1,7 m<sup>3</sup>, prolongée par un cylindre qui contient les parachutes et les moteurs d'attitude. Le tout est surmonté d'une tour de sauvegarde à moteur poudre, étudiée pour arracher la capsule de la fusée en cas de danger. Le premier vol orbital a lieu le 20 février 1962. A bord de sa capsule, John Glenn boucle trois orbites en moins de cinq heures. Le dernier vol Mercury est une mission d'endurance dévolue à l'astronaute Gordon Cooper. Vingt-deux orbites sont au programme, soit 34 heures de vol. Les objectifs du programme Mercury ont été atteints.

### **3) Le programme Apollo**

Ce sont au total six équipages Apollo qui se posent sur la Lune entre 1969 et 1972, douze astronautes explorant sa surface, installant des batteries d'instruments scientifiques et récoltant au total 382 kg d'échantillons.

### **4) Les vols Vostok et Voskhod**

Vostok est constitué d'un module de service de 2,27 tonnes et d'une capsule sphérique de 2,46 tonnes. Le moteur de freinage à ergols liquides a une poussée de 1,6 tonnes. En cas de panne, la capsule rentre par freinage atmosphérique. Le cosmonaute en scaphandre est placé sur un siège éjectable qui peut servir au lancement et lors de la récupération. Il dispose d'une commande manuelle pour orienter le vaisseau à l'aide de petits moteurs à gaz comprimé. Le cosmonaute Youri Gagarine a été choisi parmi 6 candidats pour effectuer la première orbite autour de la Terre. Le vol a eu lieu le 12 avril 1961. Le module Vostok-1 a atterri près de Saratov (à 700 km de Moscou) sans occupant. A 7 km du sol, Gagarine s'est éjecté, comme cela était prévu.

A bien des égards, les modules Voskhod restent très proches des Vostok. Le siège éjectable est remplacé par des sièges moulés pouvant recevoir jusqu'à trois cosmonautes en survêtement. Le vaisseau est placé sur une orbite plus haute: il ne peut donc plus revenir par freinage atmosphérique. C'est pourquoi, il est équipé d'un moteur de secours à ergols solides placé au-dessus de la cabine. Enfin, la capsule est équipée d'un système d'atterrissage en douceur. Un moteur à ergols solides, placé entre la cabine et le parachute principal est allumé à quelques mètres du sol et les cosmonautes sont assis sur un siège à amortisseurs.

Le 18 mars 1965 à bord de Voskhod-2 Leonov effectue une sortie dans l'espace d'une durée de 12 minutes. Ce vol sera mouvementé: Leonov aura du mal à retourner dans le sas, une dépressurisation partielle intervient à la 17e orbite. La capsule atterrit à 368 km de l'endroit prévu, et il faudra 24h pour retrouver l'équipage.

### **5) La station MIR**

Lancée le 20 février 1986, la station Mir est la première station modulaire. Elle est dotée du nouveau système Course qui autorise les rendez-vous latéraux. La destruction de Mir est intervenue le 23 mars 2001 au dessus de l'Océan Pacifique. Au total, la station fut occupée de façon permanente par 27 équipages de base et trois équipages de visite (missions internationales) pendant 15 ans. Elle a laissé la place à la nouvelle station orbitale internationale (ISS).

#### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:**

- 1- Alimentation de l'homme dans l'espace (B. Comet) - Médecine Aérospatiale (deuxième édition) -Editions Expansion scientifique publications
- 2- Le Règlement sanitaire International (J-M Sonneck)- Médecine Aérospatiale, 1985, 24 (93), 60-63.
- 3- Air & Cosmos HS - Objectif Mars (la conquête spatiale depuis ses origines)
- 4- Rapports internes (CR) de la commission nutrition Planète Mars

### Thématique n°3: Expériences acquises de nutrition en environnement clos

\*\*\*\*\*

#### La survie des mineurs chiliens

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Jean Delaplace

Ont participé au groupe de travail: Jean Delaplace, Liam Fauchard, Christophe Vaglio

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 d'une opération qui a duré environ 22 heures.

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
- sandwich au jambon pour le déjeuner + 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 mises au point par le CHU de Nice, de petite dimension (5 cm de diamètre), enrichies en protéines (20 % au lieu de 8 %) 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 ... Ces moments difficiles vécus par les mineurs chiliens ont montré aussi l'importance de la discipline dans le groupe pour faire face au mieux aux événements.

Finalement « l'aventure » des mineurs chiliens, très différente de ce que l'on peut imaginer pour un voyage spatial, n'apporte peu d'information concernant une mission habitée vers Mars, sauf peut être l'intérêt d'emporter des aliments à haute teneur en protéines, en vitamines ...(comme les galettes du CHU de Nice) permettant de faire face éventuellement à un problème inattendu.

#### Quelques références bibliographiques utilisées pour cette contribution :

*Articles de presse uniquement, en particulier :*

- Le Monde : 21 Septembre 2010
- La Croix : 29 Juillet 2011
- L'Express : 6 Août 2011

---

# Thématique n°4: Aspects psychologiques de la nutrition

---

## Thématique n°4: Aspects psychologiques de la nutrition

\*\*\*\*\*

### Choix des menus - convivialité -aspects culturels

\*\*\*\*\*

Rédactrice: Dominique Ledevin

Ont participé au groupe de travail: Dominique Ledevin, Alain Pouvreau

#### 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.

Les 1ers retours d'expériences ne faisaient pas état des conditions d'alimentation dans l'espace bien que beaucoup d'analyses et de suivis médicaux aient été effectués.

Depuis quelques années, des réflexions et des études sont engagées.

#### Plusieurs organisations ont été testées:

- Comme dans l'ISS:

La NASA a pris le parti que chaque spationaute choisisse les 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. (cf:1)

### **L'expérience actuelle de Mars 500**

L'importance des apports nutritionnels et l'aspect psychologique de l'alimentation font l'objet d'une étude spécifique.

Les astronautes dans cette seconde phase de l'expérience ont 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 est d'une semaine.(cf: 3 et 6)

Il faudra attendre le complet retour d'expérience de cette 2<sup>nd</sup> phase comprenant 3 russes, 1 français, 1 chinois et 1 italien pour connaître l'impact de ce choix d'alimentation sur l'équilibre psychologique de l'équipage.

Cependant, nous connaissons l'importance de la nourriture pour les français. Romain Charles le 2<sup>nd</sup> français engagé dans l'aventure Mars 500 a déjà 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. (Ah ! le petit croissant du dimanche matin!)

### **Les 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. Ceci n'impacte pas sur le volume embarqué.
- prévoir des repas à thèmes (ex: chili con carne, canard laqué, crêpes,...) 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 à penser que ces questions sont secondaires pour peu que l'on tienne compte au minimum des différences culturelles dans le choix des menus.

### **B)- CONVIVIALITE**

- La prise en commun des repas est un moment privilégié pour être ensemble; moments de détente, d'échanges.
- **Plusieurs organisations autour 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 celui qui est de garde (cf:3).

La solution adoptée est forcément incluse dans l'organisation individuelle et collective.

### **Améliorer l'ordinaire avec les produits de la serre**

L'effet est psychologique plus que nutritionnel en raison des faibles ressources de la serre dans le module ainsi que des qualités nutritives des produits cultivés.

Dans Mars 500, Cyril Fournier dans la 1ère expérience des 105 jours indique que, tous les 15 à 20 jours environ pour des raisons de récolte, une salade fait partie du menu. Elle est composée uniquement de produits frais issus de la serre: "(salade, radis, oignons, poivrons, tomates voire fraises...)". (cf: 3 et 6)

Valeur ajoutée de l'entretien d'une serre : Le besoin psychologique de toucher les plantes apporte un réconfort, a une action anti stress; le manque de verdure, de nature est une des remarques qui revient le plus souvent dans les frustrations évoquées par les équipages.

(cf: 4)

Cultiver des plantes aromatiques par exemple, permet d'améliorer l'ordinaire de combattre la diminution du goût des aliments constatée en apesanteur. (cf: 5 et 6)

Il y a quelques années l'ESA a demandé à Alain Ducasse, chef étoilé, de faire des propositions de menus à partir des ingrédients disponibles dans un module spatial. Dans le cadre des formations dispensées par l'école "Alain Ducasse Formation " (ADF) ont été imaginés des plats élaborés uniquement avec les produits de la serre. 9 ingrédients ont été listés comme pouvant être cultivés en quantité suffisante pour préparer ces plats. Parmi ces 9 ingrédients la spiruline.

### **Les boissons**

En dehors des besoins en eau

Aucune boisson gazeuse ne peut a priori être consommée en condition d'apesanteur Pour des questions d'évacuation des gaz de l'estomac.

Garder l'alcool (non gazeux), pour des événements festifs ou exceptionnels tels que les fêtes nationales, les anniversaires, nouvel an,....

### **C)- ASPECTS CULTURELS**

- La nourriture a-t-elle la même importance dans toutes les cultures ? Non, mais c'est un besoin primaire comme le précise Cyril Fournier. (cf: 3).
- 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.

**Question:** 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 ?

#### **D)- LA PSYCHONUTRITION OU LES ALIMENTS DU CERVEAU**

- La psycho nutrition ou les aliments du cerveau.

Ces données sur la psycho nutrition sont issues d'un article de Denis Riché nutritionniste auprès des sportifs de haut niveau.(cf.7).

Certaines situations évoquées dans cet article peuvent se recouper, à minima bien sûr , avec les besoins psychologiques requis pour une mission spatiale.

#### **Introduction**

Depuis des millénaires 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.

La notion de psycho nutrition est un concept récent dont se servent les sportifs de haut niveau et les nutritionnistes suite à plusieurs études réalisées dans la seconde moitié du XXème siècle. (cf:7).

#### **Définition de la psycho nutrition**

« Les modalités alimentaires permettent d'optimiser les fonctions cérébrales ».

La nutrition est un producteur d'énergie.

Elle a une action sur le métabolisme.

Elle a une influence sur la synthèse réalisée par les « neurotransmetteurs ».(cf ci-dessous).

La psycho nutrition est l'étude de l'influence de l'alimentation sur les fonctions cérébrales, tant intellectuelles (en particulier la concentration dont dépendent toutes les autres facultés) que psychologique : motivation, dynamisme, confiance en soi, vigilance, capacité à écouter son corps et ses signaux d'alarme.

Si l'une des fonctions de l'alimentation est de pourvoir aux besoins énergétiques du corps, elle agit également sur le métabolisme en apportant les nutriments nécessaires et les micronutriments, cofacteurs indispensables aux relations biochimiques, en particulier celles concernant les neurotransmetteurs.

En effet, les neurotransmetteurs cérébraux, **en tant que médiateurs chimiques du Système Nerveux Central (SNC) participent à la transmission des messages nerveux entre les neurones.**

**L'objectif** est donc d'apporter une alimentation adaptée aux besoins cérébraux afin d'éviter les baisses des performances psychologiques et physiques. L'utilisation de compléments alimentaires ciblés peut alors être nécessaire en cas de difficulté ou d'impossibilité à répondre à ces besoins par l'alimentation.

#### **Le glucose et l'hypoglycémie.**

-L'apport de *glucose* provoque une sensation de bien-être. Source essentielle d'énergie pour le cerveau, il est indispensable pour la transmission de l'influx nerveux et favorise donc le dynamisme, concentration et vigilance.

-Les besoins en glucose du cerveau sont de 4 grs/heure quand le besoin total de l'organisme est de 10grs/heure.

-Les ressources en glucose de l'organisme se trouvent sous forme de glycogène au niveau des réserves hépatiques à hauteur de 100grs. Il faut y ajouter les apports nutritifs et la transformation d'autres nutriments (lipides, acides aminés) en glucose par la néoglucogénèse.

-La dépense en glucose de l'organisme est importante puisqu'environ 150mn d'efforts suffisent à provoquer une hypoglycémie et il faut moins de temps en situation de stress émotionnel (situation des spationautes). (cf: 7).

-Un déficit en glucose provoque une fatigabilité cérébrale ou « torpeur cérébrale », qui se traduit par une baisse de la concentration, une torpeur soudaine, et une sensation de faim tenace. (cf.7)

### **Acides aminés et neurotransmetteurs.**

Constituants fondamentaux des protéines alimentaires, les acides aminés sont apportés par les poissons et fruits de mers, les œufs, les viandes et les laitages pour les sources d'origine animales; les oléagineux, légumineuses (dont le soja), les céréales et certaines algues pour les sources végétales.

Ils sont au nombre de 20 dont 8 sont dits essentiels parce qu'ils ne peuvent être synthétisés par l'organisme et doivent donc être entièrement apportés par l'alimentation.

Parmi ceux-ci:

*Le tryptophane* sert à la synthèse de la sérotonine. Celle-ci a une action antidépresseur et anxiolytique. On retrouve du tryptophane dans les œufs, les laitages, viandes blanches, soja, et noix (dont noix de coco).

*La tyrosine* est précurseur de l'adrénaline. Celle-ci augmente le rythme cardiaque et la pression artérielle, dilate les vaisseaux et augmente la glycémie. Elle favorise la vigilance. On retrouve la tyrosine dans les œufs, les produits laitiers, l'avocat, les amandes.

### **Le cerveau « poubelle »**

En cas d'apports insuffisants de la ration alimentaire, relativement aux besoins majorés par la nature de l'activité, est observée la fabrication de certaines molécules : messagers cellulaires ou déchets métaboliques qui provoqueront alors des perturbations de l'activité des neurones cérébraux.

Par ailleurs, la fatigue cérébrale peut aussi être la conséquence d'une accumulation d'ammonium dans le sang, suite à l'épuisement du glycogène musculaire en cas d'effort prolongé. Les manifestations physiques que l'on constate en cas d'hyperammoniémie: incohérence verbale, troubles de l'équilibre et de la motricité.

Cependant, ce risque est très minoré chez nos futurs explorateurs martiens, du moins durant le voyage.

### **Les Cytokines**

Lorsque l'organisme est placé en situation d'efforts répétés, les microlésions musculaires provoquent la libération de messagers du processus inflammatoire : les *Cytokines*, qui se transforment en *Interleukines*. Ces *Interleukines* se répandent dans tout l'organisme y compris dans le cerveau.

La présence d'*Interleukines* au niveau cérébral se traduit par un comportement apathique, un manque d'appétit, une perte de poids, une chute de la libido, des tendances dépressives, un désintérêt de la vie quotidienne avec des angoisses et des troubles du sommeil.

### **Conclusion**

Fatigues physique et cérébrale sont des signes d'alerte utiles que la nutrition ne peut régler à elle seule.

Le besoin de repos de l'organisme doit être respecté. Cela fait partie de l'écoute de son corps et du respect des signes d'alerte évoqués plus haut.

Une alimentation bien gérée permet d'éviter des carences pouvant favoriser ces fatigues. Dans le contexte d'un voyage spatial long, ceci s'avèrera indispensable.

### Références bibliographiques

- 1- Professeur Gilles Nedelec « Recommandations concernant la nutrition de l'équipage d'une mission martienne ». Cours d'activité d'intégration en Science de la Nature-5 Mars 2002.
- 2- Jean Dunglas -L'homme et ses écosystèmes dans l'Espace-Prospectives 2199- issu du document provisoire.
- 3- Cyril Fournier, article « Mars 500: premiers pas vers la planète rouge », Bulletin de l'Association Planète Mars N°48, juillet 2011.
- 4- DVDTF1 vidéo 2001 « un voyage vers Mars ».
- 5- Christophe Kueny, article « Micro-gravité/absence de gravité », Bulletin de l'Association Planète Mars N°17, octobre 2003.
- 6- « Mars 500: l'astronaute Romain Charles raconte ses 520 jours d'expérience » article Futura Science Février 2012.
- 7- Les aliments du cerveau: Denis Riché, nutritionniste auprès des sportifs professionnels.
- 8- Nutrition dans l'espace: interview de Christophe Clervoy par Corinne Dubel, Magasine **ESPACE et exploration?** mars/avril 2012. p. 52 à 61.

---

# Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

---

## Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

\*\*\*\*\*

### Effets des choix de pesanteur (artificielle ou 0g) sur le choix des aliments et des boissons

#### Première Partie

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Christophe Vaglio

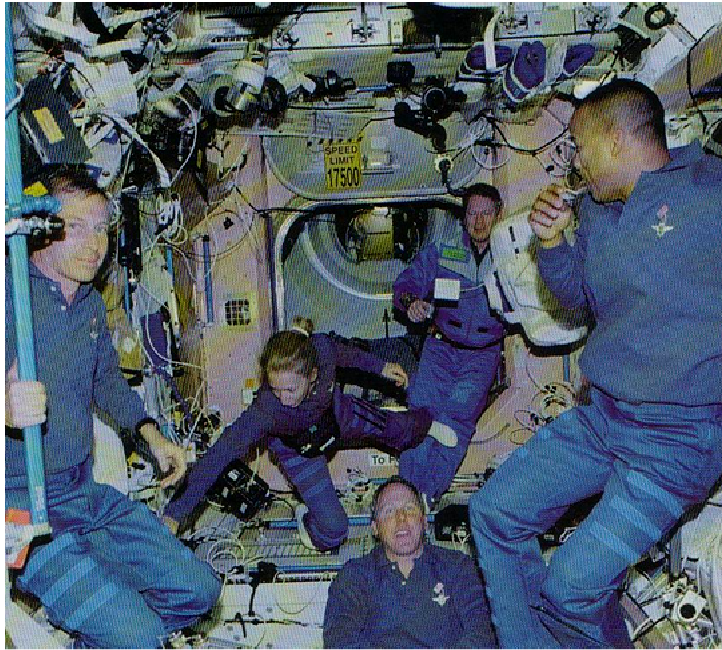
Ont participé au groupe de travail: Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Liam Fauchard, Dominique Ledevin

#### I- L'Apesanteur

##### Introduction:

Les seniors, les jeunes et plus jeunes ont pu lire, découvrir ou visualiser les albums et/ou les divers films des aventures du reporter Tintin, de son chien Milou et de ses amis. Dans l'album "On a marché sur la Lune", l'intérieur de la fusée permettant d'envoyer un équipage sur la Lune, était doté d'une gravité artificielle par fonctionnement constant du moteur fusée.

L'auteur de cet album, Hergé, a décrit de manière réaliste avec les connaissances en technologies spatiales du moment (vers les années 1950-1960), les effets de l'apesanteur ainsi que de la gravité artificielle. Nous vous conseillons à ce sujet de consulter l'album de Tintin "On a marché sur la Lune" .



Apesanteur: équipage à bord de l'ISS (image Nasa)



Intérieur de la station Mir en juillet 1993 (Source livre BT espace Cnes)

## **Les effets de l'apesanteur:**

### **I- La micropesanteur:**

- La disparition de la composante gravitationnelle des pressions hydrostatiques en micropesanteur entraîne des modifications de la pression sanguine veineuse essentiellement, qui à son tour 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 classiquement "face à pleine lune".

- Le séjour en microgravité entraîne globalement:

\* 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 trois conséquences:

1) une décalcification osseuse

2) des modifications de la statique de la colonne vertébrale

3) une fonte musculaire

### **II- Les effets secondaires de la micropesanteur sur l'ingestion, la digestion et l'excrétion.**

L'ingestion des aliments n'est guère perturbée par l'absence de pesanteur. En fait, seuls se posent des problèmes de conditionnement des aliments.

L'absorption des liquides doit se faire par succion à partir d'un récipient fermé et souple. Les différentes 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 du fait de l'absence de pesanteur. Elles se mélangent à la phase liquide du bol alimentaire, ce qui est à l'origine d'ennuis gastriques (absence de la poche à air gastrique).

La nourriture est stockée sous forme de conserves, desséchée ou lyophilisée. Elle est présentée dans des boîtes faciles à ouvrir et au besoin munies de dispositif permettant l'usage de couverts classiques. Les nombreux types d'aliments emportés permettent l'établissement de menus variés et équilibrés représentant 10 000 à 15 000 kJ par spationaute et par jour en voici un exemple.

Notons que dans les scénarios de voyage martien préconisés par la Mars Society la majorité du voyage se fait sous condition de gravité artificielle obtenue par rotation du vaisseau habité relié par un long câble à un contrepoids constitué de l'étage supérieur du lanceur qui a permis l'élancement vers Mars. Le même scénario est proposé pour le retour. Ceci n'exclue pas des phases de micropesanteur dans les quelle les conditions d'alimentation seront semblables à celles de l'ISS ou de la navette.

**Tableau 5.2 Repas proposés dans la navette américaine. Abréviations : T : thermostabilisé, MI : moisissure intermédiaire, R : réhydratable, I : irradié, L : lyophilisé, FN forme naturelle, B : boisson réhydratable.**

	<b>Jours 1,5</b>	<b>Jours 2,6</b>	<b>Jours 3,7</b>	<b>Jours 4,8</b>
<b>A</b>	pêches (T) viande hachée (R) œufs brouillés (R) flocons de son (R) chocolat (B) jus d'orange (B)	Compote (T) Boeuf séché (FN) Nougatine (R) Croissant (FN) Chocolat instantané pour petit déjeuner (B) Jus d'orange, pamplemousse (B)	Pêches séchées (MI) Saucisse (R) Œufs brouillés (R) Flocons d'avoine (R) Chocolat (B) Jus d'orange et d'ananas (B)	Abricots séchés (MI) Croissants (FM) Nougatine au cassis (R) Déjeuner instantané à la vanille (B) Jus de pamplemousse (B)
<b>B</b>	Saucisses de Strasbourg (T) Dinde au Tetrizzini (R) Pain (FN) Bananes (L) Barres énergétiques aux amandes (FN) Jus de pomme (B)	Corned -beef (T) Asperges (R) Pain (FN) Poires (T) Cacahuètes (FN) Citron pressé (B)	Jambon (T) Pâte de fromage (T) Pain (FN) Haricots verts et brocoli (R) Ananas pressé (B) Biscuits sablés (FN) Noix de cajou (R) Thé avec citron et sucre (1)	Bœuf haché à la sauce pickles (T) Nouilles et poulet (R) Tomates à l'étouffée (T) Poires (L) Amandes (FN) Jus de fraise (B)
<b>C</b>	Cocktail de crevette (R) Beefsteak (I) Riz pilaf (R) Broccoli au gratin (R) Cocktail de fruits (T) Pudding au caramel (T) Jus de raisin (B)	Bœuf et sauce barbecue (T) Chou-fleur (R) Haricots verts aux champignons (R) Pudding au citron (T) Biscuits aux noix de Pécan (FN) Chocolat (B)	Soupe aux champignons (T) Dinde fumée (T) Mélange de légumes italiens (R) Pudding à la vanille (T) Fraises (L) Punch des tropiques (B)	Thon (T) Macaronis au fromage (R) Petits pois au beurre (R) Pêche ambrosie (R) Pudding au chocolat (T) Citron pressé (B)

Note : jour 1 : repas B et C seulement

( Source: ouvrage " médecine aérospatiale, éditions expansion scientifique publications (1999)" )



L'astronaute américain Joseph Allen face à une boule de jus d'orange, lors d'une mission spatiale en 1982. (Source: livre BT espace Cnes)



Figure 5.3. Jean-Loup Chrétien buvant du thé à bord de la station orbitale soviétique Saliout 7 (1982). (Photographie CNES).

Source: ouvrage " Médecine aérospatiale (deuxième édition)  
Edition expansion scientifique publications"-photo Cnes

## Références bibliographiques:

- 1- La microgravité: J. Colin, B. Comet, A. Guell, Médecine aérospatiale, édition expansion scientifique et publications (août 1999)
- 2- Alimentation de l'homme dans l'espace: B. Comet, Médecine aérospatiale, édition expansion scientifique et publications (août 1999)
- 3- Surprenante impesanteur: BT espace, Cnes (1995)
- 4- Les aventures de Tintin, album "On a marché sur la Lune" (Hergé, éditions Castermann)
- 5- Microgravité/absence de gravité (2ième partie), article bulletin Planète Mars n°17, octobre 2003

## Annexes:

### I- Questions de nuances

La pesanteur:

On appelle pesanteur l'attraction s'exerçant réellement à la surface d'un astre. En fait, gravité et pesanteur seraient identiques si l'astre ne pivotait pas sur lui-même, ce qui n'est jamais le cas. On caractérise la pesanteur d'un astre par l'intensité de son accélération désignée par la lettre  $g$ . Sur Terre,  $g$  vaut en moyenne 9,8 mètres par seconde ( $m/s^2$ ). Les valeurs extrêmes sont respectivement de 9,78 à l'équateur et de 9,83 aux pôles.

L'impesanteur ou apesanteur:

Différents moyens permettent de supprimer les effets de la pesanteur et de créer l'état d'impesanteur, c'est à dire un environnement sans pesanteur perceptible.

La microgravité:

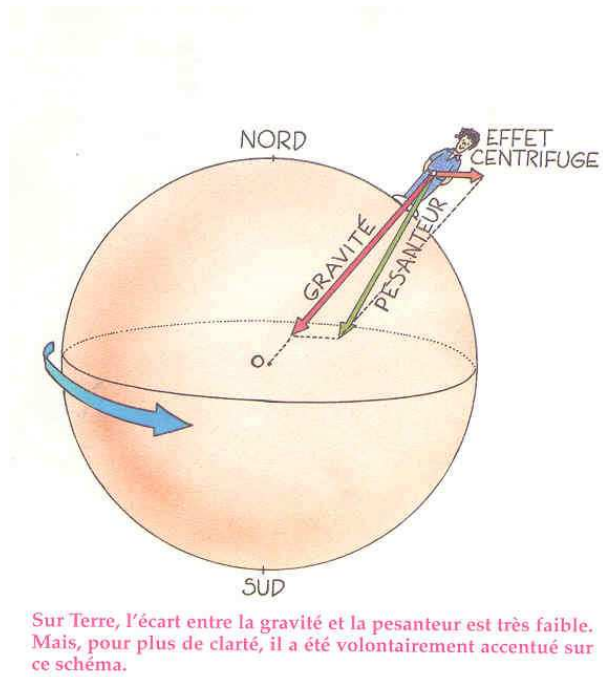
En certaines régions de l'espace, la gravité ambiante peut être beaucoup plus faible que la gravité terrestre normale. On parle alors de microgravité - le préfixe micro vient du grec mikros qui signifie petit.

Dans un vaisseau spatial, on n'observe aucune microgravité (comme ont tendance à le dire les médias et même quelques scientifiques) mais une micropesanteur.

La micropesanteur:

Quand on installe, dans un vaisseau spatial des instruments de mesure précis, on constate qu'il subsiste toujours des forces parasites, donc une accélération ou pesanteur résiduelle. Sa valeur est très faible et souvent comprise entre un centième et un millionième de la pesanteur que nous subissons sur Terre. C'est ce que l'on appelle la micropesanteur.

Il est d'usage de comparer la micropesanteur à la pesanteur terrestre moyenne ( $g$ ). Ainsi dira-t-on d'une micropesanteur qu'elle vaut par exemple  $10^{-2} g$  (soit 0,01 g) ou  $10^{-4} g$  (soit 0,0001 g).



(Source livre: BT espace Cnes - surprenante impesanteur)

"Aujourd'hui le terme "impesanteur" est préféré à celui d'apesanteur en raison des risques de confusion, pour l'oreille entre "la pesanteur" et "l'apesanteur".

Le vol parabolique:

trajectoire imposée à un avion afin d'y créer une impesanteur ou apesanteur éphémère.

Source: Surprenante Impesanteur, BT Espace, Cnes (1995)

## Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

\*\*\*\*\*

### Effets des choix de pesanteur (artificielle ou 0g) sur le choix des aliments et des boissons

#### Deuxième Partie

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Christophe Vaglio

Ont participé au groupe de travail: Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Liam Fauchard, Dominique Ledevin

#### Introduction:

Dans la première partie nous avons vu que lors d'un vol habité en apesanteur, de nombreuses modifications apparaissent au niveau de l'équipage et concernent notamment leur métabolisme, leur masse osseuse, leurs systèmes nerveux et cardio-vasculaire.

#### Rien ne monte, rien ne descend...

Dans un véhicule spatial en orbite ou un habitat où règne l'apesanteur (vol habité), la vie quotidienne des spationautes s'en ressent beaucoup. Tout y est compliqué: se déplacer, s'alimenter, dormir, se laver, travailler. Sans les nombreux élastiques et sangles qui retiennent les objets, le désordre y serait insupportable.

Le Dr. Valery Polyakov, directeur adjoint de l'institut de biomédecine, Russie, qui est resté 438 j dans l'espace, a attaché beaucoup d'importance aux exercices physiques lors des séjours habités de longue durée et a mis au point des séries de tests pour connaître les réactions de l'organisme et notamment sur les muscles et les os :

- 2h de programme journalier, 60 exercices différents (durée précise, ordre des exercices, nombre de mouvements)
- Test de l'efficacité du programme sur les os et les muscles
- Exercices difficiles à réaliser en apesanteur : immobilisation du corps grâce à des sangles élastiques

Le Dr. Valery Polyakov a mis au point un modèle médico-biologique et selon lui, les tests sur tapis roulant et vélo d'appartement sont peu attractifs, l'apesanteur rend complètement inactif.

Une centaine d'expériences intensives ont été réalisées pour connaître les répercussions de l'apesanteur sur l'organisme humain et notamment sur :

- le ralentissement du système cardiaque
- la perturbation de l'équilibre
- la diminution des pouvoirs immunitaires

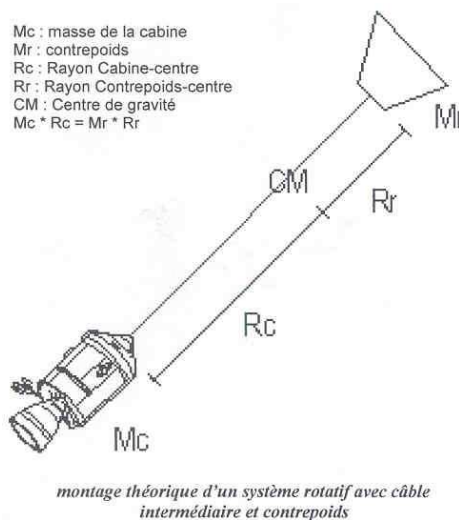
Le Dr. Valery Polyakov a passé ainsi 438 jours en apesanteur avec une perte de 15% de sa puissance musculaire à son arrivée sur terre, et a montré qu'il était possible avec un programme physique approprié de gérer l'état morphologique et physiologique du corps humain en apesanteur durant un séjour en longue durée. Cette durée de 438 jours est beaucoup plus importante qu'un voyage aller vers Mars, de 180 jours environ avec les technologies spatiales du moment.

Nota: le programme d'exercices physiques élaboré par le Docteur Polyakov pour lui-même ne semble pas avoir été testé sur d'autres individus en particulier vers le sexe féminin. Des évolutions de certains exercices doivent être vraisemblablement prises en compte.

**La gravité artificielle:**

L'ensemble des problèmes de micropesanteur pourrait être résolu lors de la création d'un champ de force équivalent à la gravité par la rotation d'un couple habitat et contrepoids reliés par un câble (bulletin Planète Mars n°17).

Avec une vitesse de 6 tours par minute, la longueur du câble jusqu'au centre de gravité serait de 25m pour reproduire la gravité terrestre. Cependant, les forces de Coriolis générées par ce mouvement provoquent des nausées chez tous les sujets à la vitesse de 6 tours par minute. Peu de malaises sont observés à 2 tours par minute, mais cette vitesse nécessite un câble de 223 mètres de la cabine au centre de gravité du système.



( Source Planète Mars: bulletin planète Mars n°17)

Actuellement, seules des études papier théoriques ou à petite échelle sont proposées pour décrire une possibilité de réalisation de gravité artificielle lors d'un voyage vers Mars. La Mars Society a proposé une première mission visant à expérimenter l'effet de pesanteur 0,38 g sur des souris.

Reconstituer une gravité terrestre à partir d'un mécanisme de gravité artificiel permettrait de s'affranchir de toutes les modifications physiologiques et psychologiques des spationautes et de rendre la vie quotidienne dans l'habitat plus facile et conviviale.

Au niveau nutritionnel, des programmes élaborés (futuriste et de prévention) pourraient être proposés, notamment: la nutriginétique, la nutriprévention puis la nutrithérapie et même la cuisine moléculaire(\*)

Cuisine moléculaire:

Ce terme « barbare » correspond simplement à des modes de cuisson différents (chaleur douce) ou à des produits naturels (algues).

Le conditionnement des aliments serait plus simple à réaliser de façon quasi-identique à ce que l'on peut rencontrer dans la vie quotidienne sur Terre. Les prises de boisson seraient aussi plus faciles à prendre (plus de sachets ou de pipettes)

L'ESA travaille sur le programme MELISSA. Ce programme porte sur la culture de plantes et la gestion des déchets recyclables (<http://www.esa.int/esa-cgi/esasearch.pl?q=melissa>)

#### **Références bibliographiques:**

- 1- Dvd Tf1 vidéo (2001), « un voyage sur Mars » (durée 45mn)
- 2- Bulletin Planète Mars n°17 (octobre 2003)
- 3-Compte-rendus internes de la commission nutrition Planète Mars (ateliers nutrition 2010-2011)
- 4-Médecine aérospatiale, deuxième édition, (expansion scientifique publications,1999)

## Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

\*\*\*\*\*

### Conditions dégradées

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Liam Fauchard

Ont participé au groupe de travail: Liam Fauchard, Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Dominique Ledevin

#### Avant-propos

Dans le cadre des recherches que nous avons mené collectivement sur le sujet, et pour la partie qu'il m'incombe de produire, je pense qu'il est néanmoins utile de situer nos réflexions dans un contexte global, celui du voyage AR vers Mars pour une durée de 18 mois, avec les conséquences induites par le confinement, la promiscuité, la nouveauté de la situation.

#### 2/ VOYAGE EN CONDITIONS DEGRADEES

Si l'on se place toujours dans notre problématique « Santé Nutrition » d'un voyage AR Terre-Mars, les conditions dégradées qu'il convient d'explorer sont de deux ordres : les conditions générales dégradées, d'ordre technique principalement et leurs conséquences sur le sujet afférent ; les conditions dégradées sur le sujet alimentation proprement dit.

##### A/ Aspects techniques

Il est difficile d'imaginer tous les dysfonctionnements d'ordre techniques qui pourraient avoir des conséquences sur le couple « Nutrition – Santé » ; je me suis donc contenté d'en évoquer trois.

A1/ = Des régulations inopérantes ou partiellement opérantes en matière de climatisation à bord, froid excessif ou chaud excessif. Dans les deux cas, la question se posera des dispositions à prendre principalement en termes d'hydratation / déshydratation des organismes humains. Ce cas pose une question cruciale quant à la quantité d'eau embarquée initialement dans le vaisseau.

⇒ ***La quantité d'eau embarquée sera forcément inférieure aux besoins totaux de la mission pour une question de masse. La fiabilité, les redondances, la réparabilité des systèmes de recyclage d'eau seront des caractéristiques fondamentales.***

A2/ = Un décalage temporel de la mission qui allongerait le délai de dix-huit mois. Cela nécessite de prévoir des quantités de nourritures en excès lors du départ du vaisseau, ce qui pourrait de nouveau aboutir à un questionnement sur la charge utile à embarquer lors du départ de la mission.

⇒ **Une réponse à cette probabilité est de mettre à disposition sur la planète, Mars avant l'arrivée des astronautes, des modules permettant de produire en quantités suffisantes des éléments nutritifs permettant d'aborder « sereinement », soit une durée sur place plus longue que prévue, soit une durée du voyage de retour plus longue que prévue.**

A3/ = Des conditions à bord et/ou in situ sur Mars ne permettant pas d'obtenir pour l'équipage de éléments de nutrition autres que des produits secs, lyophilisés ...etc...

**(tant qu'il y a de l'eau on peut réhydrater, s'il n'y a plus d'eau on est mort)**

#### B/ Aspects propres à l'alimentation

B1/ = Constat est fait qu'il est devenu impossible, du fait de la mauvaise conservation de certains produits, de préparer les plats exotiques imaginés par les membres de l'équipage avant le départ de la mission.

⇒ **Prévoir, avant le départ, des produits dont les combinaisons secondaires puissent permettre de réaliser les combinaisons conduisant à l'élaboration des plats exotiques envisagés.**

B2/ = Carences alimentaires.

⇒ **Les missions préalables MARS 150 et MARS 500 devraient avoir permis de mieux comprendre les contextes nutritionnels et psychologiques permettant de limiter ces carences alimentaires. En effet, l'assimilation de certains oligo-éléments et de certains minéraux est pour partie principale due au métabolisme de l'individu, mais aussi, au complémentaire, à son état psychique.**

#### Références et sources :

= De nombreux numéros d'Espace Magazine

= Encyclopaedia Universalis

= Kim Stanley Robinson – Trilogie Mars la rouge, Mars la verte, Mars la bleue – Presses de la Cité

= Objectif Mars – SVE – DVD

= Voyage autour du soleil – BBC – DVD

## Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

\*\*\*\*\*

### Conservation des aliments -Apports de l'irradiation

\*\*\*\*\*

Rédacteur: Jean Delaplace

#### METHODES DE 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 qui préserve mieux la texture des aliments. Durée de conservation des produits surgelés : 2 ans et plus.

La lyophilisation : technique de déshydratation sous vide qui consiste en une congélation brutale à - 40 / - 80 °C puis d'une sublimation de la glace sous vide. Après réhydratation des aliments , ceux-ci retrouvent presque la même texture d'origine et toute leur saveur.

L'appertisation ou stérilisation (mise en conserve) : traitement entre 115 et 120 °C des aliments (viandes, poissons, légumes, fruits ...) dans des emballages étanches. Durée de conservation : 3 à 5 ans.

**L'irradiation** : consiste à exposer les aliments à des rayonnements ionisants afin de détruire les microorganismes, bactéries, moisissures, centres de germination , insectes... qu'ils contiennent. Inconvénients : à des doses très élevées l'irradiation peut détruire les vitamines ainsi que d'autres nutriments, diminuant les qualités nutritives du produit. Elle peut aussi avoir un impact négatif sur le goût, l'odeur et la texture des aliments irradiés.

Rappelons enfin l'existence des produits naturellement sec de longue conservation comme le riz, les pâtes, les lentilles, les biscuits ...

#### UNITES D'IRRADIATION :

- *Dose absorbée* : c'est l'énergie absorbée par kilogramme de matière traversée. S'exprime en Gray (Gy) ou en Rad : 1 Gy = 1 Joule par Kg 1 Gy = 100 Rad

- *Equivalent de dose* : grandeur mesurant l'effet biologique des rayonnements sur la matière vivante. Tient compte de la nocivité propre de chaque type de rayonnement. S'obtient en multipliant la dose absorbée en Gy par un facteur Q qui dépend de la nature du rayonnement.

Q = 1 pour les électrons, le rayonnement gamma, les rayons X

Q = 10 à 20 pour les protons, les particules alpha , les ions lourds

S'exprime en Sievert (Sv) ou en Rem : 1 Sv = 100 Rem. On utilise le millisievert (mSv).

### TECHNIQUES D'IRRADIATION :

- Ionisation bêta : irradiation par faisceau d'électrons (  $E < 10 \text{ MeV}$  ) produits par un accélérateurs de particules. Temps d'irradiation proprement dit : quelques secondes
- Rayonnement gamma : on utilise le rayonnement produit par des radio-isotopes, généralement le Cobalt 60 (période 5,3 ans, émetteur bêta 0,315 MeV, émetteur gamma 1,17 et 1,33 MeV) . On utilise aussi le 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. La durée du cycle est au plus de l'ordre de l'heure, mais le temps d'irradiation proprement dit est d'une dizaine de minutes.

### DOSES UTILISEES DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE :

- 0,05 à 0,15 KGy : bloque la germination des cellules embryonnaires (pommes de terre, oignons, aulx, échalotes ...)
  - 0,15 à 3 KGy : tue les insectes, certains vers parasites
  - 0,7 à 3 KGy : allonge la durée de conservation des fruits, légumes en retardant la maturation, réduisant la population d'insectes, les microorganismes, moisissures ...
  - 2 à 5 KGy : pour les viandes prédécoupées, poissons ...
  - 5 à 10 KGy : pour semi-conserves, plats cuisinés, charcuterie ...
- Pour des doses inférieures à 10 KGy les effets secondaires sont négligeables.

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

### NATURE DES RADIATIONS RENCONTREES DANS L'ESPACE :

- **Particules d'origine solaire** (vent solaire) : protons essentiellement, électrons.

En cas d'éruption solaire, imprévisible, le nombre de ces particules augmente considérablement et les doses peuvent atteindre quelques centaines de Rem, soit plusieurs Sv, et devenir très dangereuses pour les astronautes,. D'où la nécessité de prévoir sur le véhicule spatial une zone de protection renforcée contre les radiations où les astronautes pourront se réfugier en cas d'éruption solaire.

- **Particules d'origine galactique** (rayonnement cosmique) : protons (87 %), particules alpha (12 %), ions lourds (1 %).

Rappelons aussi l'existence des ceintures de Van Allen se trouvant entre 2.000 et 30.000 km d'altitude autour de la Terre. Elles sont constituées d'électrons et de protons du vent solaire piégés par le champ magnétique terrestre. Elles n'interviennent pas au cours d'un voyage vers Mars.

Toutes ces particules libèrent de l'énergie dans la matière qu'elles traversent et il peut en résulter des dégâts, en particulier biologiques sur les tissus vivants.

### ORDRE DE GRANDEUR DES DOSES ATTEINTES DANS L'ESPACE ( estimées ou mesurées ) :

Navette spatiale : 0,1 mSv par jour

1 mSv par heure en sortie extravéhiculaire

MIR : 1 mSv par jour

Mission lunaire : quelques centaines de mSv

Au cours d'une mission vers Mars les membres de l'équipage reçoivent une dose estimée de l'ordre de 1 à 2 Sievert. Dose sur Mars estimé : 120 mSv par an.

Rappelons que des effets sensibles sur l'être humain commencent à apparaître pour des doses supérieures à 1 Sv. Sur Terre l'irradiation naturelle est d'environ 3 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. On pourrait même dire que l'irradiation améliore leur conservation.

#### IRRADIATION DES ALIMENTS AVANT EMBARQUEMENT :

L'irradiation des aliments avant l'embarquement ne peut être que bénéfique, tant que les doses ne dépassent pas quelques Kgy :

- arrêt de la germination (pommes de terre, oignons, échalotes ...)
- destruction des insectes susceptibles de détruire céréales, fruits, légumes secs ...
- allongement de la durée de conservation des fruits, légumes frais , en réduisant les microorganismes, insectes, moisissures ...
- destruction des microorganismes dangereux comme les salmonelles
- amélioration de la conservation des viandes, poissons, charcuteries ... par élimination des microorganismes.

L'irradiation est donc un moyen à envisager pour améliorer la conservation des aliments embarqués pour des missions spatiales de très longues durées, venant s'ajouter à la stérilisation, la lyophilisation, la surgélation ...

#### Quelques références bibliographiques utilisées pour cette contribution :

##### *Irradiation des aliments :*

- Revue Générale Nucléaire : n°4 Juillet - Août 1986 (article ancien mais très complet)
- Irradiation des aliments : site Wikipédia

##### *Niveaux d'irradiation dans l'espace :*

Des articles concernant les missions spatiales donnent parfois , sans détails , des estimations des niveaux d'irradiation rencontrés en orbite autour de la Terre ou au cours de missions plus lointaines. J'ai retenu en particulier :

- Revue Energ'Hic n° 86 Mai - Juin 1994
- Ciel et Espace Juin 2002
- Médecins et rayonnements ionisants n°13 1996
- Rapport IPSN (Institut de Protection et de Sureté Nucléaire) 93 - 6496 / SF
- Radiations spatiales: bulletin n° 9 et 10 Planète Mars (oct. 2001 et janv. 2002).

## Thématique n°5: Aspects particuliers de la mission martienne

\*\*\*\*\*

### Durée de la mission

\*\*\*\*\*

Rédactrice: Dominique Ledevin

Ont participé au groupe de travail: Dominique Ledevin, Liam Fauchard, Christophe Vaglio, Jean Delaplace

### DUREE DE LA MISSION

- Plusieurs durées de missions sont prises en compte ainsi qu'un nombre variable de membres d'équipage.
- L'hypothèse de Gilles Nedelec pour Mars Direct et 4 spationautes:

190 (+/-10 jours) aller + 600 jours sur place + 190 (+/-10 jours) retour = **980 jours**

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

- L'expérience de Mars 500 et 6 spationautes:

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

NB: Le séjour sur Mars n'a pas été inclus dans l'expérience.

Tableau comparatif:

	Nb total de jours	Nb de spationautes	Nb de repas /jour	Nb total de repas à embarquer
Mars Direct	980	4	5	19 600
Mars Cinq Cents	520	6	5	15 600

### LE POIDS DE NOURRITURE ET EAU EMBARQUE

Dans l'ISS le poids de la nourriture embarquée est de 1,7kg par personne et par jour. (cf: 6).

Pour un 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. (cf: 8).

Certains parlent d'envoyer des conteneurs sur la planète rouge avant l'arrivée des astronautes, quand d'autres estiment cela impossible. (cf: 6 et 8).

Les apports de produits frais seront une mince solution pour la question du poids de nourriture.

L'objectif après Mars 500 est de trouver les aliments qui pourront se garder longtemps à température ambiante. (cf: 6).

Références bibliographiques:

- 1- Professeur Gilles Nedelec "Recommandations concernant la nutrition de l'équipage d'une mission martienne"- Cours d'activité d'intégration en Sciences de la Nature - 5 mars 2002.
- 2- Jean Dunglas -L'homme et ses écosystèmes dans l'Espace - Prospectives 2100 – issu du document provisoire.
- 3- Cyril Fournier, article "Mars 500: premiers pas vers la planète rouge", Bulletin de l'Association Planète Mars N°48, Juillet 2011.
- 4- DVD TF1 vidéo 2001"Un voyage vers Mars"
- 5- Christophe Kueny, article "Micro-gravité/absence de gravité", Bulletin de l'Association Planète Mars N°17, octobre 2003.
- 6- « Mars 500: l'astronaute Romain Charles raconte ses 520 jours d'expérience » article Futura Science Février 2012.
- 7- Les aliments du cerveau: Denis Riché, nutritionniste auprès des sportifs professionnels.
- 8- Nutrition dans l'espace: interview de Jean-François Clervoy par Corinne Dubel, Magazine *ESPACE et exploration?* mars/avril 2012. p. 52 à 61.

# RÉSUMÉ

Cette étude bibliographique concernant les aspects nutritionnels fait référence à une demande de l'association Planète Mars lors de la tenue annuelle de l'une de ses AGO (assemblée générale ordinaire) dans le cadre du développement de ses activités. Cette thématique a été approuvée par la suite en CA (conseil d'administration).

L'étude présentée ne prétend pas proposer un recensement exhaustif des différentes expériences acquises de nutrition en environnement clos, comme le ferait un annuaire spécialisé ou un rapport d'expertise. Toutefois, elle s'attache à fournir un certain nombre d'informations de base et de relais afin d'orienter les utilisateurs de cette étude et de faire découvrir aux membres de Planète Mars un sujet important qui est la nutrition, pour les vols spatiaux habités. Les nombreuses informations diffusées dans ce rapport résultent de nombreux échanges et réflexions de la commission nutrition au cours des participations à ses divers ateliers (2010-2011) à partir de ces expériences.

## **Mots clés:**

psycho nutrition - choix des menus - aspects culturels - convivialité- environnement clos - conservation des aliments en environnement irradié - micropesanteur - pesanteur.

## **Titre:**

Etudes bibliographiques - Santé/nutrition spatiale en vue d'un voyage vers Mars

Ont participé à la commission nutrition et à la rédaction de ce document:

Alain Pouvreau, Christophe Vaglio, Jean Delaplace, Dominique Ledevin, Liam Fauchard