

UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2018

2018 TOU3 3021

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement
par

Francis COLLINS
Le 26 Avril 2018

**Odontologie spatiale et missions interplanétaires :
Apport de la télémédecine bucco-dentaire**

Directeur de thèse : Pr Olivier HAMEL

Jury

Président : Pr Olivier HAMEL
1er assesseur : Dr Jean CHAMPION
2eme assesseur : Dr Florent DESTRUHAUT
3eme assesseur : Dr Mathieu MARTY
4eme assesseur : M Philippe HAZANE



**UNIVERSITÉ
TOULOUSE III**
PAUL SABATIER



Université
de Toulouse



Faculté de Chirurgie Dentaire



➔ DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mme Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN

Mr Franck DIEMER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Muriel VERDAGUER

➔ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE †

Mr Jean-Philippe LODTER †

Mr Gérard PALOUDIER

Mr Michel SIXOU

Mr Henri SOULET

➔ ÉMÉRITAT

Mr Damien DURAN

Mme Geneviève GRÉGOIRE

Mr Gérard PALOUDIER

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme. BAILLEUL- FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme. BAILLEUL-FORESTIER, Mr. VAYSSE
 Maîtres de Conférences : Mme. NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme. VALERA, Mr. MARTY
 Assistants : Mme. DARIES, Mme. BROUTIN
 Adjoint d'Enseignement : Mr. DOMINE, Mme. BROUTIN, Mme. GUY-VERGER

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme. MARCHAL, Mr. ROTENBERG,
 Assistants : Mme YAN-VERGNES, Mme. ARAGON
 Adjoint d'Enseignement : Mme DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mr. HAMEL)

Professeurs d'Université : Mr. SIXOU, Mme NABET, Mr. HAMEL
 Maître de Conférences : Mr. VERGNES,
 Assistant : Mr. ROSENZWEIG,
 Adjoints d'Enseignement : Mr. DURAND, Mlle. BARON, Mr LAGARD

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (Mr. COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mr. BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN
 Maître de Conférences Associée : Mme. VINEL
 Assistants : Mr. RIMBERT, Mr. ANDUZE-ACHER
 Adjoints d'Enseignement : Mr. CALVO, Mr. LAFFORGUE, Mr. SANCIER, Mr. BARRE, Mme KADDECH

CHIRURGIE ORALE

Maîtres de Conférences : Mr. CAMPAN, Mr. COURTOIS, Mme. COUSTY
 Assistants : Mme. COSTA-MENDES, Mr. BENAT
 Assistante Associée : Mme. GEORG,
 Adjoints d'Enseignement : Mr. FAUXPOINT, Mr. L'HOMME, Mme. LABADIE, Mr. RAYNALDI,

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : Mr. KEMOUN
 Maîtres de Conférences : Mr. POULET, Mr. BLASCO-BAQUE
 Assistants : Mr. LEMAITRE, Mr. TRIGALOU, Mme. TIMOFEEVA, Mr. MINTY
 Adjoints d'Enseignement : Mr. PUISSOCHET, Mr. FRANC, Mr. BARRAGUE

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX** (Mr ARMAND)**DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE**

Professeur d'Université : Mr. DIEMER
 Maîtres de Conférences : Mr. GUIGNES, Mme. GURGEL-GEORGELIN, Mme. MARET-COMTESSE
 Assistants : Mr. BONIN, Mme. RAPP, Mr. MOURLAN, Mme. PECQUEUR, Mr. DUCASSE, Mr. FISSE
 Adjoints d'Enseignement : Mr. BALGUERIE, Mr. MALLET, Mme. FOURNIER

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : Mr. ARMAND, Mr. POMAR
 Maîtres de Conférences : Mr. CHAMPION, Mr. ESCLASSAN, Mme. VIGARIOS, Mr. DESTRUHAUT
 Assistants : Mr. EMONET-DENAND, Mme. SELVA, Mr. LEMAGNER, Mr. HENNEQUIN, Mr. CHAMPION,
 Adjoints d'Enseignement : Mr. BOGHANIM, Mr. FLORENTIN, Mr. FOLCH, Mr. GALIBOURG, Mr. GHRENASSIA, Mme. LACOSTE-FERRE, Mr. POGÉANT, Mr. GINESTE, Mr. LE GAC, Mr. GAYRARD, Mr. COMBADAZOU, Mr. ARCAUTE, Mme. DE BATAILLE,

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme JONJOT, Mr. NASR, Mr. MONSARRAT
 Assistants : Mr. CANCEILL, Mme. GARNIER, Mr. OSTROWSKI
 Adjoints d'Enseignement : Mr. AHMED, Mme MAGNE, Mr. VERGÉ, Mme BOUSQUET

 Mise à jour pour le 03 avril 2018

Remerciements :*In loving memory of my brother, Sol*

I would like to thank my mother and father for their help and support over the years.

Many thanks to Dr Lois Jackson, Dr Jed Best and Dr Jerry Ashrafi for their warm welcome during my stay in New York. I learnt many useful things during my trip, of which the “Carivu” system and “Silver Diamine Flouride” that I mention in this thesis.

I would also like to thank Mrs. Arlene Shaner and the New York Academy of Medicine for their wonderful library and for all the help provided.

-

Merci aux “A34” qui ont fait vivre le tripode pendant mes deux années passées là-bas ! Feyswal, Alexis, Alicia, Seham, Mickael, Lucie, Quentin, Rafaële, Aurélien, Marine, Lynn, Sonny, Emie et j’en oublie... Des soirées ciné dans les couloirs au camping à la belle étoile sur Pech David, on a passé de supers moments qui me marqueront toujours !

Merci à la Bodéga pour ces soirées de folie entre copains. Que ce soit à Toulouse ou au ski, on s’est bien amusés !

Merci à la DREAM pour ces moments sportifs, autant dans la victoire que la défaite. On a ramené deux titres de champion universitaire ces dernières années et vous êtes bien partis pour en avoir un autre !

Merci aux DMDB pour ces cinq dernières années. Paul, J-B, Audrey, Thomas, Sophie, Alexis, Margot, Ana, Anissa, Pierre, vous êtes au top !

Merci aux Copains du love pour nos repas, nos blagues et nos vacances, tous aussi mémorables les uns que les autres. Mathieu, Marie & Marie, Thibaut, Claire et P.A, merci pour votre amitié et vivement les Canaries !

Merci à Cyril, le meilleur des binômes. On a passé 3 ans d’externat au top ! Tu as su m’aider et me soutenir tout au long. Je t’en suis très reconnaissant.

Merci à toi Caro, ça fait maintenant presque 6 ans que tu me supportes ! Tu as été là pendant toutes mes études et ton soutien a été indispensable à la réalisation de cette thèse, surtout ces 3 derniers mois.

-

Et finalement un grand merci à mes relecteurs, Caroline, Mathieu, Marie, P.A et Sophie, qui ont eu la tâche lourde. Si j’ai été naturalisé, c’est seulement parce que les préfets n’ont pas vu le premier jet de cette thèse !

A notre président du jury et directeur de thèse,

Professeur Olivier HAMEL

- Professeur des Universités ;
- Praticien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignement et de Recherches Dentaires ;
- Responsable de la sous-section « Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale » ;
- Enseignant-chercheur au Laboratoire d'Ethique Médicale et de Médecine légale de la Faculté de Médecine de l'Université Paris Descartes (EA 4569) ;
- Docteur en Chirurgie Dentaire ;
- Spécialiste Qualifié « Médecine Bucco-Dentaire » ;
- Docteur de l'Université Paris Descartes ;
- Habilitation à Diriger des Recherches ;
- Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques.

Vous nous faites l'honneur et le plaisir de diriger cette thèse ainsi que de présider notre jury. Vous avez d'emblée montré tout votre intérêt pour ce projet de thèse tout en permettant de préciser le sujet.

Vos idées, conseils et votre efficacité dans les relectures nous ont permis de concrétiser ce projet et de finaliser le travail ci-présent.

Veillez recevoir ici l'assurance de notre sincère reconnaissance pour votre confiance, votre disponibilité ainsi que votre aide qui nous ont été précieuses.

A notre jury de thèse,

Docteur Jean CHAMPION

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie ;
- Docteur en Chirurgie Dentaire ;
- Docteur d'Etat en Odontologie ;
- DU Implantologie de la Faculté de Chirurgie dentaire de Marseille ;
- Diplôme d'Implantologie Clinique de l'Institut Brånemark – Göteborg (Suède) ;
- Vice-Président du Conseil National des Universités (section : 58) ;
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

Vous avez été l'un des premiers enseignants à nous accueillir à notre arrivée à la Faculté de Chirurgie Dentaire et nous avons pu profiter de votre pédagogie et de votre gentillesse tout au long de notre formation théorique et pratique.

Vous avez chaleureusement accepté de siéger à notre jury de thèse et c'est pour nous un honneur particulier de vous compter parmi nos juges.

Veillez trouver ici l'expression de notre gratitude et de tout notre respect.

A notre jury de thèse,

Docteur Florent DESTRUHAUT

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie ;
- Expert près la Cour d'Appel de Toulouse ;
- Docteur en Chirurgie Dentaire ;
- Docteur de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales en Anthropologie sociale et historique ;
- Certificat d'Études Supérieures en Prothèse Maxillo-Faciale ;
- Certificat d'Études Supérieures en Prothèse Conjointe ;
- Diplôme Universitaire de Prothèse Complète Clinique de Paris V ;
- Responsable du diplôme universitaire d'occlusodontologie et de réhabilitation de l'appareil manducateur ;
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

Nous sommes honorés que vous ayez accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Tout au long de notre cursus nous avons pu apprécier la passion que vous transmettez dans vos cours et votre pratique clinique.

Nous vous remercions pour tout l'intérêt que vous avez porté à ce travail dont le sujet vous était déjà familier.

Veillez trouver dans cet écrit l'expression de notre profond respect.

A notre jury de thèse,

Docteur Mathieu MARTY

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie ;
- Docteur en Chirurgie Dentaire ;
- CES de Chirurgie Dentaire Odontologie Pédiatrique et Prévention ;
- CES de Physiopathologie et diagnostic des dysmorphies crânio-faciales ;
- Master 2 « Sciences de l'éducation Université » Paul VALERY Montpellier 3.

Nous sommes ravis que vous ayez accepté de siéger dans le jury de cette thèse.

Vous nous avez fait découvrir la pédodontie et grâce à votre humour et votre pédagogie vous avez non seulement su dédramatiser cette spécialité mais aussi éveiller des vocations.

Bien que l'odontologie spatiale et l'odontologie pédiatrique semblent appartenir à deux mondes distincts, nous espérons que vous pourrez trouver des points en commun, notamment concernant la prévention et les protocoles de soin.

A notre jury de thèse,

Monsieur Philippe Hazane

- Directeur Exécutif de l'Institut de Médecine et Physiologie Spatiale (MEDES/IMPS) ;
- Colonel de la réserve citoyenne de l'Armée de l'Air ;
- Ancien Conseiller Spatial et Représentant du CNES à l'Ambassade de France aux États-Unis ;
- Ancien Sous-directeur adjoint à la sous-direction « Mission et Exploitation des données » au Centre Spatial de Toulouse du CNES ;
- Ancien Président de la « Revue d'extension des missions » ;
- Ancien chef du service « Exploitation des centres de mission ».

Nous sommes touchés par l'honneur que vous nous faites en acceptant de juger ce travail. Vous avez chaleureusement accepté de nous recevoir dans vos locaux à la MEDES et lors de notre entretien vous avez mis en avant plusieurs points et réflexions qui ont permis de développer d'avantage cette thèse. Nous espérons que celle-ci répondra à vos attentes. Veuillez trouver par ces quelques mots l'expression de notre profond respect.

Avant-propos

L'espace m'a toujours passionné. Ayant un oncle qui habitait en Floride près de Cape Canaveral et Kennedy Space Center dans les années 90', j'ai eu la chance d'assister à un lancement de Shuttle lors de mon enfance. Cela m'a inspiré. À mes 9 ans, j'ai d'ailleurs contacté la NASA avec l'aide de ma tante pour savoir « comment devenir astronaute ». Mais finalement c'est vers la santé et plus précisément l'odontologie que mon intérêt s'est tourné.

Il y a plus de 2 ans et demi maintenant, je suis tombé sur une vidéo de l'astronaute canadien Chris Hadfield. Chris était sur l'International Space Station et, comme beaucoup de ses collègues, il réalisait des vidéos pour expliquer les effets de l'apesanteur et plus généralement la vie dans l'espace. Le sujet abordé dans le clip était « l'hygiène dentaire dans l'espace » et, bien que la vidéo répondait à une question simple, cela m'a fait réfléchir : Si, lors d'une mission spatiale, une urgence dentaire se déclarait, comment l'équipage gèrerait-il l'évènement ?

Bien entendu, j'étais loin d'être le premier à me poser la question. Des protocoles très précis sont mis en place pour prévenir et solutionner ce type de problème, comme nous le verrons par la suite. Cependant, avec la venue des vols spatiaux commerciaux et l'approche de missions interplanétaires, l'odontologie spatiale est confrontée à de nouveaux défis et devra s'adapter en conséquence.

Au cours d'une discussion avec le Pr Hamel, lors d'une vacation à l'Hôtel Dieu, la télé-médecine bucco-dentaire a été évoquée. Cette dernière est une spécialité en cours de développement visant à apporter la possibilité de pratiquer la médecine bucco-dentaire à distance. Il semble donc opportun de se demander si cette forme de pratique est compatible avec les missions interplanétaires et s'il y existe, de fait, un intérêt pour les équipages. C'est ainsi qu'est né le sujet de cette thèse.

Table des matières

Avant-propos	11
Introduction	13
I. Un suivi particulier pour les spationautes	16
A) Le risque carieux	16
1. Salive	19
2. Alimentation	20
3. Flore bactérienne	24
B) Le risque parodontal	24
1. Le tartre	25
2. Le stress et l'immunité modifiée	26
C) Autres risques	27
1. Barotraumatismes	27
2. Traumatisme	28
3. Prothèses dentaires	28
4. Bruxisme	33
5. Dermatologie et médecine buccale	33
II) Contrôles et précautions pré et per-vol	34
A) Les moyens de prévention actuels	34
B) Le Matériel Médical	39
C) La formation médicale de l'équipage	47
III) Télésanté, Télémedecine et Télémedecine bucco-dentaire	54
A) Définitions	54
B) Les applications	58
IV) Télémedecine bucco-dentaire spatiale pour les missions interplanétaires	60
A) Les contraintes d'une mission interplanétaire pour les techniques de télémedecine bucco-dentaire	61
B) La consultation	64
C) Le diagnostic, et après ?	68
Conclusion	74
Annexes	75
Bibliographie	81
Abréviations	91

Introduction

“To go places and do things that have never been done before – that’s what living is all about.”

-Michael COLLINS, membre de l’équipage des missions Gemini 10 et Apollo 11

Depuis toujours, l’homme a eu le désir d’explorer. L’Humanité a toujours cherché à repousser ses limites et à aller vers l’inconnu, que ce soit par voie terrestre, maritime ou aérienne.

Le 04/10/1957 avec le lancement de Spoutnik par L’URSS, un premier pas fût réalisé en dehors du berceau de l’Humanité. Un point culminant fût atteint le 20/07/1969 lorsque Neil Armstrong et Buzz Aldrin se posèrent sur la surface lunaire, sous le regard du monde entier. Les missions spatiales d’exploration ne sont pas finies pour autant ; l’intérêt se tourne désormais vers les vols interplanétaires.

Certains auteurs, dont notamment Stephen Hawking, récemment décédé, affirment qu’au-delà de la simple curiosité, les vols interplanétaires et, par la suite, la formation de colonies sur d’autres planètes, seront nécessaires au développement continu de l’Humanité.(1)

Un vol interplanétaire correspond à un voyage entre deux planètes à minima. Bien qu’il y ait déjà eu des missions entre la Terre et d’autres planètes, celles-ci ne transportaient pas d’êtres vivants. Il n’y a, à ce jour, jamais eu de vol interplanétaire habité.

Les missions d’exploration et vols interplanétaires habités sont l’avenir des missions spatiales et, bien qu’une mission en orbite de Vénus ait été considérée(2) c’est Mars qui est l’objectif actuel des agences spatiales publiques et privées.(3)(4)

Mars est un voisin proche de notre planète, étant à 54.6 millions de kilomètres de la Terre lorsque leurs orbites sont au plus proches. Cependant ces dernières ne sont pas synchrones et la fenêtre d’opportunité de vol vers Mars n’a lieu que tous les deux ans environ en utilisant la technique d’orbite de transfert Hohmann.

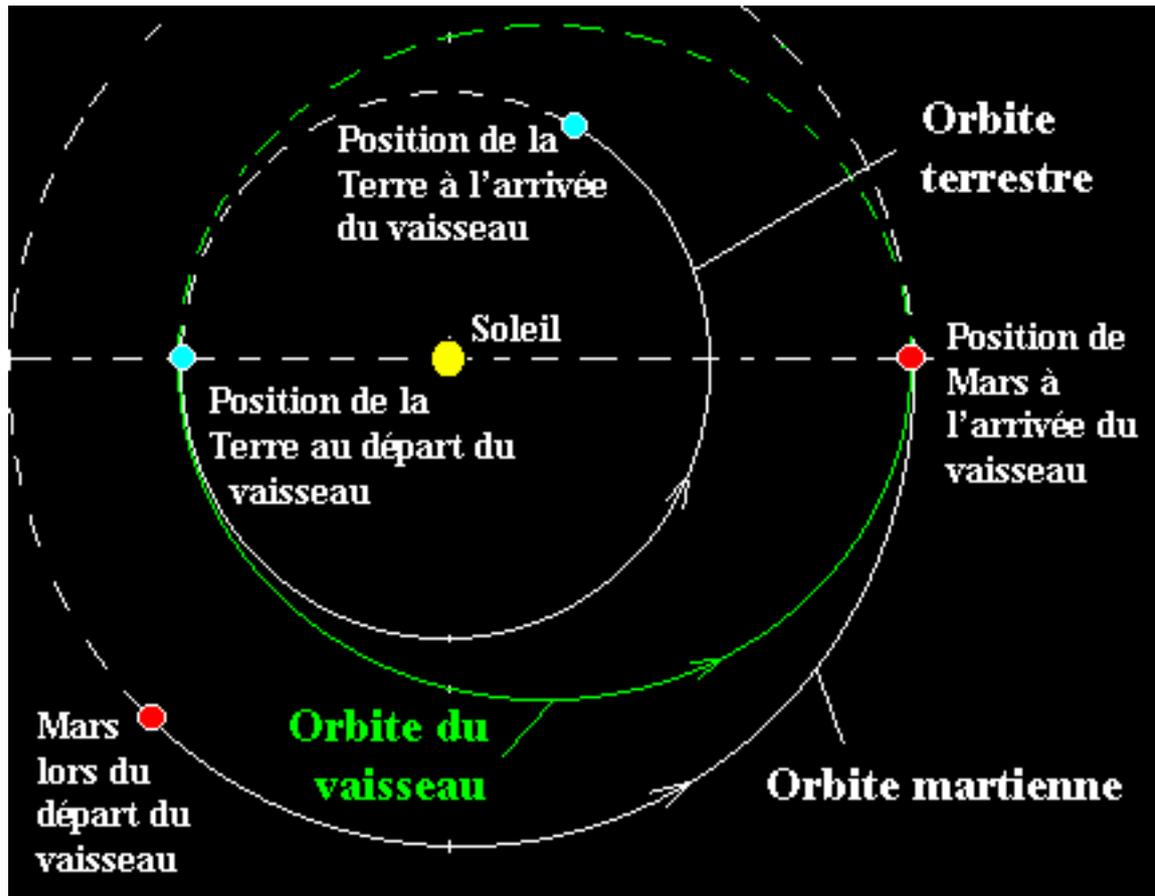


Figure 1 : Trajet Terre-Mars avec un orbite de transfert de Hohmann

Image issue du site internet « planetary.org » (5)

De ce fait, bien qu'un trajet vers Mars puisse ne prendre que 6 à 9 mois, il est attendu qu'une mission avec retour sur Terre dure au moins 3 ans.

Pendant cette période de 3 ans l'équipage sera confronté à la microgravité de l'espace et à la faible gravité martienne (trois fois moindre que sur Terre). Il se verra isolé avec des charges de travail importantes, des repères modifiés et sera donc exposé à un stress non négligeable. La communication avec la Terre ne sera pas aisée et une évacuation en urgence n'est pas envisageable avec les technologies actuelles.

La question du retour des spationautes est tellement complexe que certains projets envisagent un aller simple comme la très discutée « Mars-One » qui espère pouvoir envoyer leurs spationautes en route vers la planète rouge à partir de 2031.(6)

Assurer la santé des équipages dans cet environnement hostile est un enjeu majeur pour la planification de vols interplanétaires. En effet, loin de la Terre et sans possibilité d'évacuation, tout problème médical pourrait s'avérer catastrophique pour la réussite de la mission.

Il existe bon nombre d'évènements qui pourraient nécessiter une prise en charge médicale, mais les modèles prédictifs utilisés pour les missions vers Mars estiment qu'une urgence dentaire constitue un des 5 évènements médicaux les plus probables de porter atteinte à la réussite de la mission.(7)

L'odontologie spatiale est une spécialité visant actuellement à prévenir et solutionner tout évènement dentaire pouvant porter atteinte à la santé des spationautes et/ou à la réussite de la mission. En cas d'urgence dentaire les techniques d'odontologie spatiale doivent permettre aux spationautes de retrouver une capacité de fonctionnement optimale aussi rapidement que possible en attendant des soins plus complets lors de leur retour sur Terre.(8)

Il est clair que la santé orale des spationautes doit être assurée durant les missions interplanétaires. L'approche actuelle de l'odontologie spatiale devra être modifiée pour ces missions, qui dureront plusieurs années sans retour possible sur Terre.

La télémédecine bucco-dentaire (TéléMBD) est une spécialité qui demeure en pleine voie de développement. Elle consiste à appliquer les technologies de l'information et de la communication au service de la santé orale à distance.

La TéléMBD pourra t'elle jouer un rôle lors de futures missions martiennes et si oui, quel sera son apport ?

Afin de répondre à cette question nous allons aborder les divers risques des vols interplanétaires pour la santé orale, avant de citer les méthodes de prévention et de soins dentaires actuellement en place sur l'ISS. Ensuite la question de la télémédecine bucco-dentaire sera abordée ; nous parlerons de ses applications actuelles sur Terre et en orbite basse. Enfin nous tenterons d'énoncer quelques hypothèses sur d'éventuelles applications pour les futures missions interplanétaires.

I. Un suivi particulier pour les spationautes

La santé de l'équipage est une priorité absolue pendant tout vol spatial habité. L'environnement spatial est un milieu très particulier ; non seulement du fait de la microgravité mais aussi à cause de l'isolation, du manque de repères nycthémeraux et de verticalité ainsi que du stress. Cet environnement hostile entraîne des modifications physiologiques importantes du corps humain et peut affecter, directement ou indirectement, la santé générale des spationautes.

Pour citer Grigoriev dans l'article « Telemedicine and space flight » : « Les êtres humains sont le produit d'un long processus évolutionnaire qui nous a rendus totalement adaptés à l'environnement terrestre... Lors de son exposition à l'environnement spatial, le corps atteint une nouvelle homéostasie ».

Parmi ces modifications physiologiques, bon nombre affectent la cavité orale et pourraient prédisposer à certaines pathologies, comme nous allons le voir par la suite.

Relativement peu d'études ont été menées sur la santé orale en microgravité. De ce fait, il reste beaucoup d'incertitudes quant aux effets d'un vol spatial de longue durée sur la cavité orale.

Nous allons aborder, pathologie par pathologie, les risques d'une mission interplanétaire pour la santé orale des spationautes.

A) Le risque carieux

Tout d'abord commençons par définir la carie : d'après Fejerskov et Selwitz et al. c'est une « maladie infectieuse multifactorielle, transmissible et chronique, caractérisée par la destruction localisée des tissus dentaires par les acides produits par la fermentation bactérienne des glucides alimentaires »(9).

Selon Keyes et Koenig l'apparition et l'évolution de la lésion carieuse dépendent principalement de 4 facteurs directement impliqués :

- L'hôte ;
- Les micro-organismes ;
- Les substrats (aliments) ;
- Le temps.

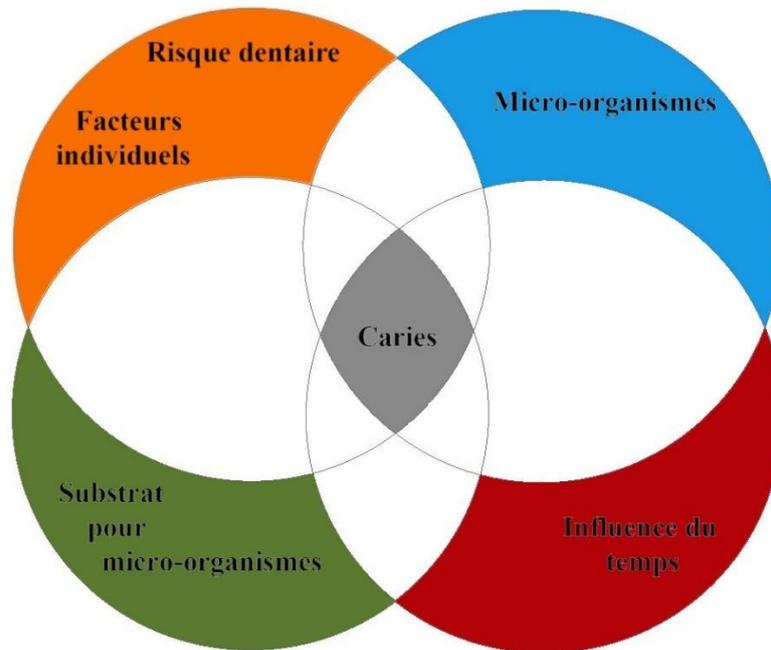


Figure 2 : Les facteurs de risque carieux selon Keys et Koenig

Image inspirée du livre « Prophylaxie et traitement conservateur des caries dentaires »(10)

En plus de ces facteurs de risques directs, il y a deux autres catégories selon Selwitz et al. :

Les facteurs liés à l'environnement buccal

- Salive ;
- Protéines ;
- Sucres ;
- Phosphate de Calcium ;
- Espèces bactériennes ;
- Fluor etc.

Les facteurs propres à l'individu

- Hygiène orale ;
- Attitude de vie ;
- Couverture Maladie ;
- Information ;
- Niveau culturel ;
- Comportement alimentaire etc.

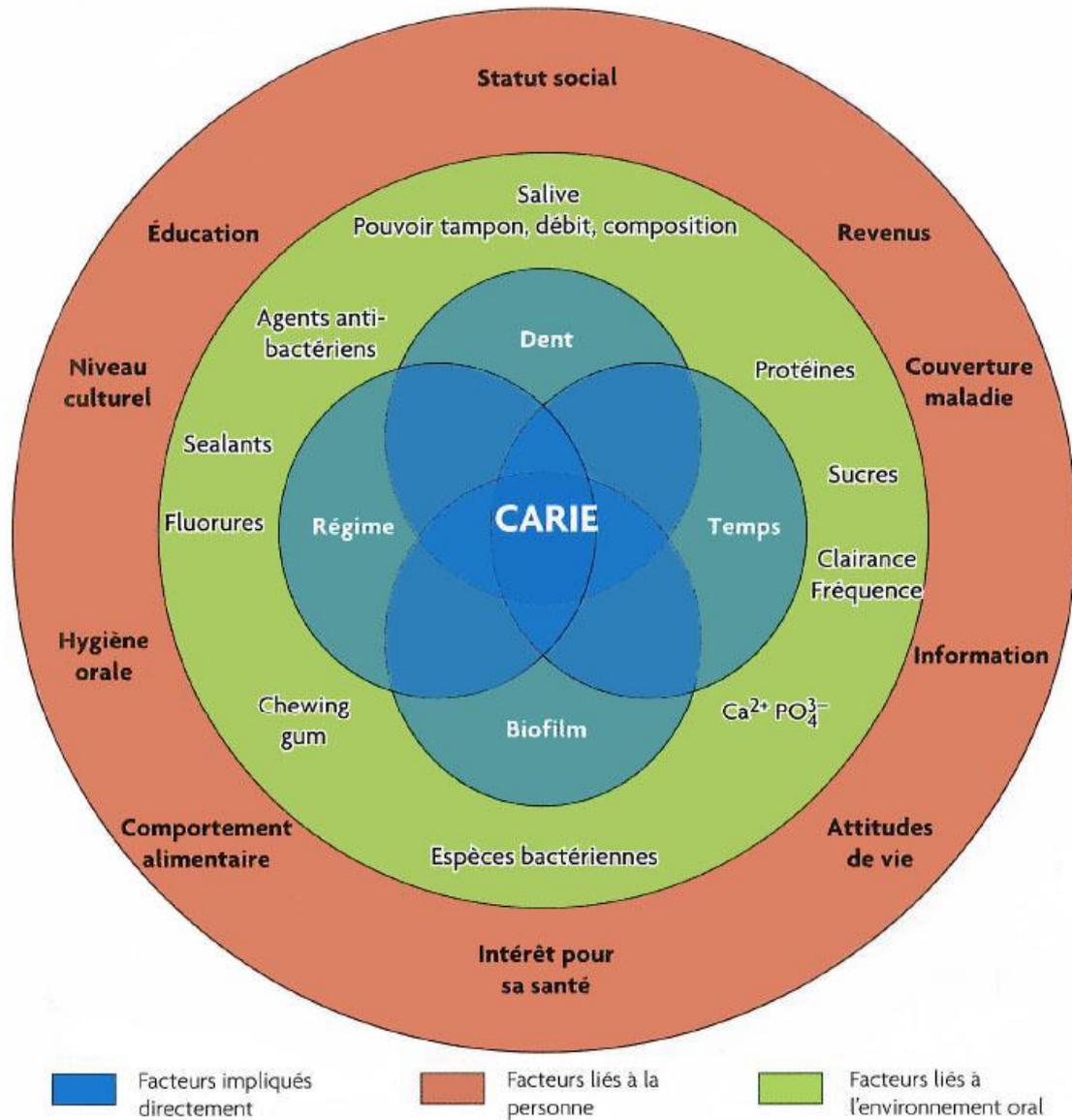


Figure 3 : Les facteurs de risque carieux selon Selwitz et al.

Image issue du livre « Odontologie conservatrice et restauratrice - Tome 1 »(11)

Les spationautes présentent tous plusieurs facteurs de protection vis-à-vis de la carie dentaire.

Nous pouvons citer :

- Un niveau d'études élevé ;
- Une forte sensibilisation aux techniques d'hygiène bucco-dentaire ;
- Une sélection des spationautes, entre autres, en fonction de leur état dentaire.

Nous pouvons aussi noter que beaucoup de précautions sont prises dont, par exemple, l'utilisation de vernis fluorés en prévention lorsque cela ne risque pas de nuire aux études réalisées lors de la mission.

Cependant, lors d'une mission interplanétaire, les spationautes seront exposés à plusieurs facteurs de risque impliqués dans la maladie carieuse comme nous allons le voir en suivant.

Études en microgravité simulée sur Terre :

L'alitement tête en bas est utilisé comme moyen efficace de simuler une situation de microgravité sur terre.(4) Il est d'ailleurs actuellement considéré comme le « gold standard » des méthodes de simulation de microgravité.(5)

1. Salive

La salive est un facteur protecteur vis-à-vis des caries dentaires.

En effet, du fait de son pH, qui est habituellement légèrement alcalin, et de ses composants, la salive joue un rôle important en agissant sur le biofilm dentaire et le processus de minéralisation-déminéralisation des dents.(12)

Quantité et qualité de la salive

Des modifications au niveau de la sécrétion salivaire ont été fréquemment mises en avant dans la littérature suite à des études sur des patients au repos alités tête en bas. Une diminution de la quantité et qualité de la salive a été mise en évidence.(13) Il semblerait que la quantité de salive, tant au repos que stimulée, soit diminuée. Il va sans dire qu'avec une salive de moins bonne qualité et en quantité amoindrie, le risque carieux est augmenté. Il faudrait cependant mener des études en vol pour confirmer ce phénomène.

Distribution de la salive

Sur terre les dents mandibulaires baignent dans la salive ce qui les protège davantage de la maladie carieuse par rapport à leurs antagonistes. En microgravité, ce phénomène n'a pas lieu, nous pourrions donc nous attendre à ce que le rapport dents cariées maxillaires/dents cariées mandibulaires ne soit pas le même sur Terre et en microgravité.(14)

2. Alimentation

L'alimentation des astronautes est plus proche de l'alimentation terrestre que l'on pourrait le croire. Finie l'époque des aliments en tuyaux et en cubes, les menus ressemblent à ce que l'on pourrait trouver sur Terre ! Il y a néanmoins des contraintes microbiologiques et nutritionnelles très strictes. Les aliments doivent être thermo stabilisés ou lyophilisés afin de prévenir tout risque d'intoxication alimentaire. Les aliments sont emballés dans des poches ou des boîtes comme visibles ci-dessous.(15)



Figure 4 : Les aliments dans l'espace

Image issue du livre « Nutrition in space »(15)

Avant de pouvoir manger, le spationaute doit réhydrater et réchauffer (pour les aliments lyophilisés) ou simplement réchauffer (pour les aliments thermo stabilisés) son repas.

Il y a peu d'aliments frais actuellement dans les vols habités du fait de leur courte durée de conservation. Certains auteurs affirment que les aliments utilisés sont souvent riches en hydrates de carbone, pauvres en lipides et favorisent donc le développement de lésions carieuses.(16)

Des sources alternatives d'aliments ont été mises en place sur l'ISS telles que le « Vegetable production system » (Veggie). Veggie permet aux spationautes de produire certains légumes

frais, comme la laitue, directement sur la station spatiale.(17) Il n'est cependant pas sûr que ce type de système soit présent lors d'une mission interplanétaire.

Hormis la composition des repas, nous pouvons aussi évoquer leur fréquence. Dans un livre référence publié en 1968, la notion de limiter la taille des repas au profit de leur fréquence afin d'éviter qu'un trop gros bolus alimentaire stagne dans l'estomac a été évoquée, tout comme le fait de permettre aux astronautes de pouvoir grignoter afin de limiter leur stress.(18)

Le grignotage ainsi qu'un nombre de repas élevé sont des facteurs de risque pour la maladie carieuse.(19)

Cependant il faut noter que la forme des missions spatiales tout comme notre connaissance de la médecine spatiale a largement évolué depuis. Il n'est donc pas sûr que ces pratiques soient encore d'actualité.

Comme nous pouvons le voir dans le tableau qui suit (Figure 12), 3 repas en commun sont prévus par jour ainsi que des collations qui peuvent être pris entre les repas. Le suivi « diététique » des spationautes est difficile puisqu'ils oublient souvent de noter la fréquence et quantité d'aliments consommés.

Nous devons aussi nous intéresser aux condiments qui accompagnent les repas pour modifier et/ou accentuer leur goût.

L'effet de microgravité sur l'odorat et le goût est un sujet très discuté. Beaucoup d'astronautes rapportent que leurs aliments perdent leur saveur et d'autres affirment que leurs préférences alimentaires changent en microgravité, pourtant certains ne remarquent aucune différence par rapport à leur ressenti sur Terre.(20)

Les études faites sur des sujets en microgravité simulée et en orbite terrestre basse ont, tout comme les rapports individuels des astronautes, trouvé des résultats très variés.(21)

La redistribution des fluides corporels, la lassitude vis-à-vis de la répétition de repas similaires (le menu se répétant souvent selon un cycle d'une dizaine de jours) ainsi qu'une conservation trop longue des repas sur les vaisseaux spatiaux ont été évoqués comme causes éventuelles.

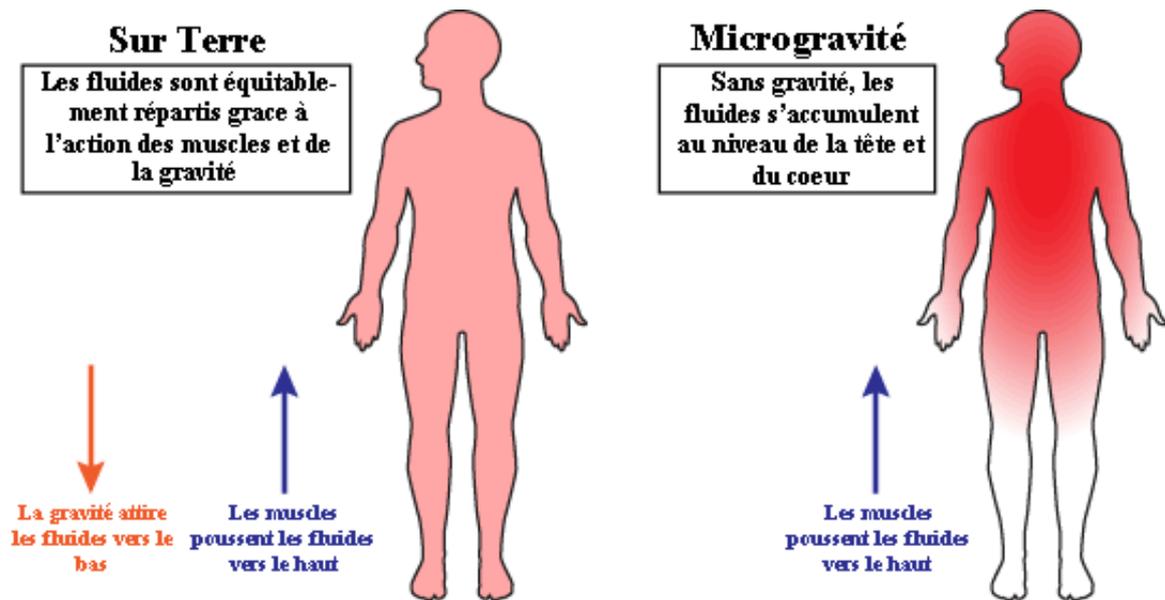


Figure 5 : La répartition des fluides corporels en microgravité

Image tiré de du site internet de « Arizona State University » (22)

La salive joue un rôle important au niveau de la perception du goût.(23) Nous pouvons donc imaginer que les modifications, tant au niveau de sa qualité, de sa quantité et de sa répartition puissent aussi être responsables de ces phénomènes.

Etant donné que les menus des spatonautes sont préparés à l'avance en fonction de leurs préférences alimentaires, tout changement de goût peut s'avérer problématique.

La Nasa a évoqué une anecdote concernant Peggy Whitson (astronaute vétérinaire avec 3 expéditions spatiales actuellement à son actif) ; sur Terre elle adorait les crevettes, et les avait donc beaucoup inclus dans ses choix de repas. Une fois en microgravité elle s'est rendue compte qu'elle n'en supportait plus le goût ! Heureusement ses collègues en raffolaient et ont interchangé leurs repas.(20)

Dans tous les cas, il est rapporté que suite à cette altération gustative, les spatonautes ont tendance à manger plus épicé que sur Terre et utilisent beaucoup plus de condiments et sauces.(24) Les condiments et les sauces, tels que le ketchup, sont très chargés en sucres et sont acides.(25)(26) Leurs utilisations fréquentes augmentent donc le risque carieux.

Meal	DAY_L_1	DAY_L_2	DAY_L_3	DAY_L_4	DAY_L_5
Breakfast	Vanilla Breakfast Drink (B) FB62	Chocolate Breakfast Drink (B) FB61	Chocolate Breakfast Drink (B) FB61	Chocolate Breakfast Drink (B) FB61	Chocolate Breakfast Drink (B) FB61
	Orange Drink (B) FB14	Lemonade (B) FB13	Orange Drink (B) FB14	Lemonade (B) FB13	Orange Juice (B) FB55
	Granola (R) FR15	Granola (R) FR15	Granola (R) FR15	Berry Medley @ FR64	Oatmeal w/ Brown Sugar FR25
	Blueberry/Raspberry Yoghurt (T) FT77	FruitCocktail P (T) FT14	Fruit Cocktail P (T) FT14	Blueberry/Raspberry Yoghurt (T) FT77	Fruit Cocktail P (T) FT14
				Granola Bar (NF) FS09	
Lunch	Lemonade (B) FB13	Lemonade (B) FB13	Apple Cider (B) FB52	Apple Cider (B) FB52	Strawberry Drink (B) FB17
	Chicken w/ Corn and Black Beans (T) FT81	Orange Pineapple Drink (B) FB16	Beef Stew (T) FT01	Chicken Fajitas (T) FT44	Lemonade (B) FB13
	Potato Medley (T) FT87	Beef Fajitas (I) FT22	Brown Rice FT83	Brown Rice FT83	Beef Steak (I) FW03
	Rhubarb Applesauce (T) FT88	Brown Rice FT83	Berry Medley @ FR64	Peach Ambrosia @ FR27	Homestyle Potatoes FT86
	Strawberries @ FR38	Macadamia Nuts (NF) FS25	Waffles (NF) FE05	Macadamia Nuts (NF) FS25	Strawberries @ FR38
	Macadamia Nuts (NF) FS25		Macadamia Nuts (NF) FS25		
	Peach Apricot Drink (B) FB41	Orange Mango Drink (B) FB30	Lemonade (B) FB13	Orange Juice (B) FB55	Lemonade (B) FB13
	Tuna (T) FK01	Beef Tips w/ Mushrooms (I) FT60	Apple Cider (B) FB52	Tuna (T) FK01	Beef Tips w/ Mushrooms (I) FT60
	Beef Steak (I) FW03	Red Beans & Rice FT56	Chicken Pineapple Salad @ FR63	Red Beans & Rice FT56	Brown Rice FT83
	Green Beans & Potatoes (T) FT71	Brownie (NF) FS22	Barbecued Beef Brisket (I) FT24	Brownie (NF) FS22	Vegetable Quiche @ FR59
Tapoica Pudding P (T) FT69				Macadamia Nuts (NF) FS25	
Crackers (NF) FS26				Brownie (NF) FS25	
Candy Coated Chocolates (NF) FS19					
Dinner	Lemonade (B) FB13	Orange Grapefruit Drink (B) FB15	Lemonade (B) FB13	Lemonade (B) FB13	Grape Drink (B) FB07
	Macadamia Nuts (NF) FS25	Macadamia Nuts (NF) FS25	Granola (R) FR15	Bread Pudding (T) FT52	Crackers (NF) FS26
	Strawberries @ FR38	Strawberries @ FR38	Macadamia Nuts (NF) FS25	Cranapple Dessert (T) FT65	Candy Coated Chocolates (NF) FS19
	Cranapple Dessert (T) FT65	Berry Medley @ FR64	Orange Juice (B) FB55	Macadamia Nuts (NF) FS25	
Snack					

Figure 6 : Exemple de menu sur l'ISS
Image tiré du livre « Nutrition in Space » (12)

3. Flore bactérienne

Virulence des bactéries

Des études in vitro menées sur Streptococcus Mutans, une bactérie ayant une implication majeure dans l'initiation des lésions carieuses, ont montré que S.Mutans a un potentiel de virulence plus élevé en microgravité. En effet, probablement dû à une régulation de l'expression de certains de leurs gènes, les S.Mutans étaient encore plus résistants aux milieux acides et formaient un biofilm plus dense en microgravité. De plus, une étude a montré que les S.Mutans étaient plus compétitifs par rapport aux Streptococcus Sanguinis en microgravité ; ceci pouvant donc créer un déséquilibre dans le biofilm dentaire et favoriser l'apparition de lésions carieuses.(27)(28) Cette étude fut cependant menée en présence de seulement deux espèces bactériennes, très loin de la réalité des biofilms oraux.(29)

Quantité de S.Mutans

Une étude menée au cours d'une simulation de mission Skylab en isolation a montré une quantité significativement supérieure à la norme de S.Mutans dans la plaque dentaire dès la première semaine d'étude.(30) Il faut cependant noter que l'hygiène orale était effectuée seulement avec un brossage utilisant du bicarbonate de sodium et de l'eau, le dentifrice classique n'étant pas autorisé lors de l'étude. Il y a un biais significatif sans l'apport topique du fluor et de son activité bactériostatique.(31)

Il y a ainsi plusieurs facteurs qui pourraient augmenter le risque carieux. Les données disponibles actuellement ne sont pas suffisantes pour pouvoir affirmer que les spationautes sont à haut risque carieux mais suffisent à appeler à la prudence.

B) Le risque parodontal

Selon la Haute Autorité de Santé, « Les maladies parodontales ou parodontopathies peuvent être définies comme des maladies infectieuses multifactorielles. Elles sont caractérisées par des symptômes et signes cliniques qui peuvent inclure une inflammation visible ou non, des saignements gingivaux spontanés ou provoqués d'importance variable, la formation de poches en rapport avec des pertes d'attache et d'os alvéolaire, une mobilité dentaire et peuvent conduire à des pertes de dents.»(32)

Les parodontopathies sont variées, allant d'une simple inflammation superficielle de la gencive (gingivite) à la destruction des tissus de soutien de la dent (parodontite).



Figure 7 : La maladie parodontale

Image issue du site « Dentagora.fr » (33)

Les conséquences pour les spationautes d'une parodontopathie sont elles aussi diverses. Une gingivite pourra entraîner gênes et douleurs lors de la mastication. En revanche, une parodontite lors d'une mission de longue durée aurait des conséquences plus graves : douleurs, infections, mobilités dentaires, difficultés pour s'alimenter...

Parmi les facteurs de risque de développement de parodontopathies lors des missions spatiales, nous pouvons citer : le stress, l'immunité modifiée ainsi que la quantité et qualité de biofilm et de tartre.

1. Le tartre

Lors des missions Skylab, la santé orale était étudiée de près. Dans le rapport médical Skylab, les auteurs affirment qu'une formation exacerbée de tartre associée à une inflammation gingivale étaient observables systématiquement lors de ces missions.(34)

Le tartre, résultant de la minéralisation de la plaque dentaire, joue un rôle important dans le développement des maladies parodontales chroniques.

En effet, bien que la présence des bactéries de la plaque dentaire soit actuellement considérée comme étant l'étiologie principale des parodontopathies, les dépôts tartriques sont à l'abri de l'action mécanique et chimique du brossage avec dentifrice tout en permettant le développement des bactéries présentes.(35)

Cependant, la présence du tartre n'est pas obligatoire pour qu'une parodontopathie se déclare. Les parodontites agressives ainsi que les gingivites et parodontites ulcéro-nécrotiques peuvent se développer avec peu, voire pas du tout de tartre. Les facteurs de risque de ces maladies sont, entre autres, le stress, un système immunitaire affaibli et une prédisposition génétique.(36)

2. Le stress et l'immunité modifiée

Stress et immunité sont très intimement liés ; lorsque l'un augmente, l'autre diminue.(37)

Les spationautes sont très exposés au stress ; entre autres à cause de la microgravité, de leur charge de travail, de l'isolation et des rythmes circadiens modifiés, le contexte n'est donc pas favorable. De plus, leur système immunitaire semble répondre de façon disproportionnée aux agents infectieux en mission spatiale.(38)

Une étude menée lors d'une simulation de mission Skylab a montré qu'après deux semaines d'analyse, le niveau de stress et la quantité de cortisol salivaire étaient significativement augmentés. Le niveau d'immunoglobulines de type G (IgG) était significativement diminué par rapport au niveau de base des sujets étudiés. Les auteurs suggèrent que le stress des missions pourrait être mis en cause dans cette modification immunitaire.(30)

Une étude concernant spécifiquement la quantité d'immunoglobine salivaire, le stress et les profondeurs de poches lors d'une mission martienne simulée a été publiée en 2013. Elle a montré qu'au bout de 2 semaines, les quantités d'IgG des sujets étaient statistiquement inférieures à la moyenne et que les scores aux tests de stress et les profondeurs de poche étaient significativement supérieures aux valeurs mesurées lors du premier jour.(39)

Nous pouvons aussi constater qu'une grande proportion des astronautes sont des pilotes militaires de formation : sur les 330 astronautes Américains, actuels et anciens, recensés en 2013, 201 sont des anciens militaires dont 81 issus de l'United States Air Force et 83 de la Navy.(40) Il est intéressant de noter que la prévalence des maladies parodontales semble être nettement supérieure à la norme dans cette profession.(41)

C) Autres risques

1. Barotraumatismes

Les variations de pression peuvent être néfastes pour le corps humain à plusieurs niveaux et la cavité buccale fait partie des zones potentiellement affectées. Le terme de barotraumatisme dentaire, ou de barodontalgie en cas de douleurs, est utilisé pour décrire les répercussions dentaires de ces variations.

En plus de la variation de pression, pour qu'un barotraumatisme se déclare un défaut dentaire est nécessaire : carie dentaire, obturation non étanche ou présentant des bulles d'air, pulpite, nécrose pulpaire, kyste ou granulome, poche parodontale et dent enclavée par exemple.(42)(43)

Les barodontalgies ne se déclarent pas systématiquement mais peuvent être véritablement incapacitantes. Une étude récente réalisée auprès des pilotes et équipes de vols civils et militaires français a révélé qu'environ 6,5% des personnes sondées avaient déjà subi une barodontalgie et dans 13,5% des cas, les douleurs ont sévèrement affecté leur capacité de travail.(44)

Au cours d'un vol spatial, le spationaute subit de nombreuses variations de la pression.

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique avoisine les 131,34 kPa (14,7 psi). La station spatiale internationale est régulée à cette même pression. Cependant lors du décollage, des sorties extravéhiculaires et du retour sur Terre, elle varie énormément.

Lors d'une sortie extravéhiculaire la pression doit être descendue à 29,5 kPa dans le « Extravehicular mobility unit » de la NASA et 40 kPa pour la combinaison spatiale Orlan des Russes.(45) Cette diminution est nécessaire afin d'éviter que la combinaison ne se rigidifie à cause de la différence trop importante avec la pression externe.

La pression atmosphérique moyenne sur Mars est de seulement 6,36 kPa.(46) De ce fait, avec les combinaisons spatiales actuelles, les variations de pressions seront également nécessaires lors des sorties extravéhiculaires sur cet astre.

2. Traumatisme

Malgré tous les moyens de prévention mis en place, le risque d'incident dentaire suite à un traumatisme est à considérer. L'inertie d'objets déplacés en microgravité peut causer des blessures faciales importantes, potentiellement sources d'atteintes dentaires.(47)

La littérature a clairement mis en évidence la déminéralisation de l'ossature en microgravité pouvant, dans les cas sévères, prédisposer à des risques de fractures. L'ossature portante est la plus touchée puisqu'elle est beaucoup moins sollicitée, cependant une étude a montré une tendance à la déminéralisation de l'os alvéolaire ainsi que de la base osseuse de la mandibule en conditions de microgravité.(8)(48) Nous pourrions nous demander si cette perte de minéralisation pourrait augmenter les risques de fractures en cas de traumatisme ou lors de la réalisation d'une extraction dentaire après trois ans passés en gravité diminuée.(13)

Fractures et luxations dentaires sont aussi possibles. Une fracture coronaire impliquant la pulpe dentaire ou une fracture corono-radulaire seraient potentiellement compliquées à gérer sans accès à un chirurgien-dentiste.

3. Prothèses dentaires

Prothèse fixée :

Plusieurs cosmonautes russes ont perdu couronnes et obturations dentaires lors des décollages. Il est présumé que ces chutes étaient dues aux vibrations et aux forces pendant l'accélération des fusées.(8)(49)

Il existe divers produits et techniques pour assurer la rétention des couronnes dentaires. Les variations de pression décrites précédemment peuvent affecter la rétention des couronnes scellées en agissant sur les microtubules contenus dans le ciment de scellement. Une étude a décrit une nette diminution de la rétention des couronnes scellées au phosphate de zinc et Ciment verre ionomère (CVI) après avoir subi 15 cycles à une pression de 3 atmosphères. Cette même étude n'a pas mis en évidence de différence de rétention pour les couronnes collées.(50)

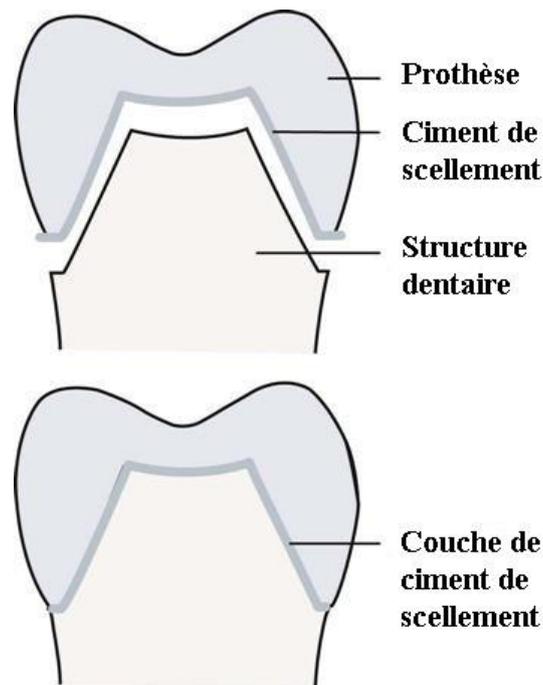


Figure 8 : Le ciment de scellement en Prothèse fixée.

Image issue du site « pocketdentistry.com » (51)

Prothèses amovibles :

A notre connaissance, il n'y a actuellement aucun spationaute en activité porteur de prothèse amovible. Cependant, une façon d'aborder la problématique de gestion d'urgences dentaires lors de missions de longue durée serait de proposer l'extraction prophylactique des dents à risque, voire même de toutes les dents, puis de mettre en place des prothèses amovibles.(52)

Plusieurs problèmes sont apparents avec ce type d'approche, en plus des soucis psychologiques et fonctionnels qu'entraîneraient le remplacement d'une denture naturelle par des prothèses amovibles.

Prothèses complètes :

La pression atmosphérique joue un rôle dans la rétention des prothèses amovibles totales à condition qu'il y ait un contact étanche entre les bords de la prothèse et de la muqueuse orale. Lorsque l'on retire la prothèse perpendiculairement à sa base, la muqueuse orale se déforme et une pression négative se crée entre la prothèse et la muqueuse orale, s'opposant ainsi à son retrait.(53) C'est l'effet « ventouse ».(Figure 8)

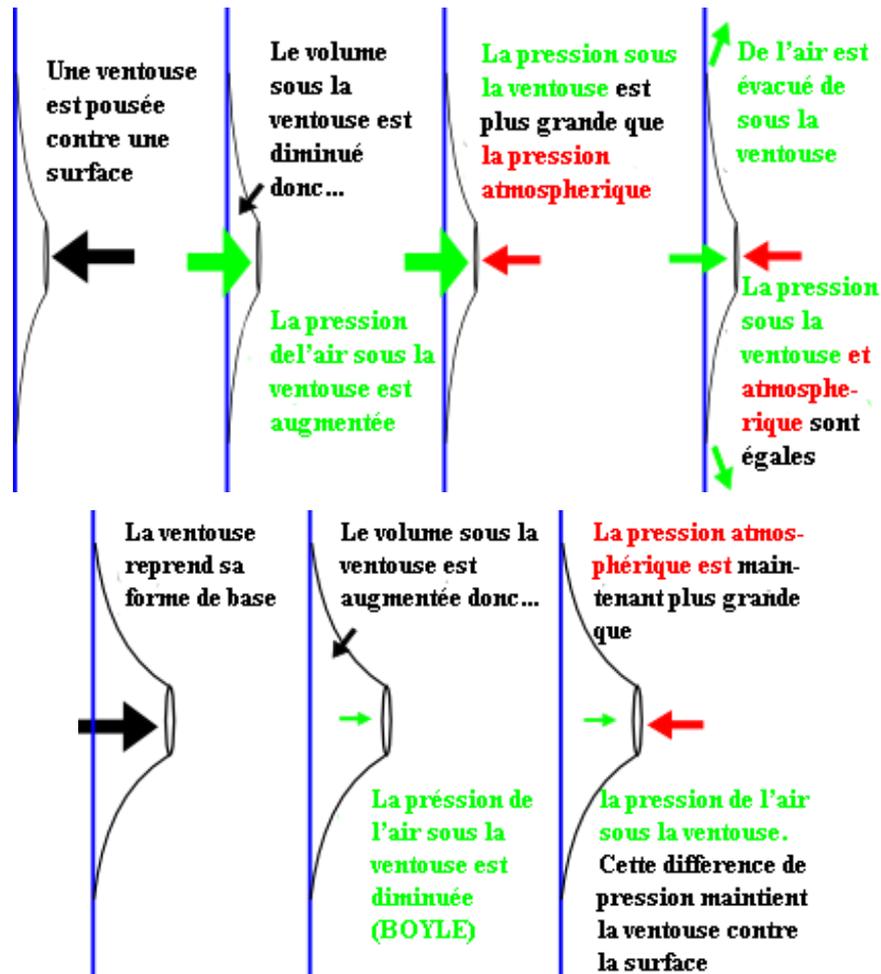


Figure 8 : « L'effet ventouse »

Image tiré de « abetterchemtext.com »(54)

Une étude très ancienne a montré que lorsqu'on se situe à une pression de 30 kPa, la rétention des prothèses totales maxillaires était nettement diminuée.(55) Le port de prothèses totales muco-portées pourrait s'avérer problématique lors de sorties extravéhiculaires où la pression atmosphérique à l'intérieur des combinaisons spatiales descend jusqu'à 29,5kPa.

De plus, la salive joue un rôle important dans la rétention des prothèses amovibles totales grâce à la mouillabilité de la muqueuse orale et de la résine des prothèses totales. Une fine pellicule de salive se développe entre la prothèse et la muqueuse. Du fait de la mouillabilité des surfaces avec lesquelles elle est en contact, cette pellicule s'oppose aux forces écartant les deux surfaces. L'existence de ce phénomène dépend de la présence d'une interface liquide-air aux extrémités de la surface de contact solide-liquide.(53)



Figure 9 : L'action de la pellicule salivaire

Nous pourrions nous demander si cette forme de rétention des prothèses totales ne serait pas affectée par les modifications quantitatives et surtout de répartition de la salive en microgravité. Il est possible d'imaginer qu'une prothèse totale mandibulaire, qui baigne dans la salive sur Terre, puisse plus facilement développer une rétention grâce à un film salivaire en microgravité. Il est possible aussi que la répartition de la salive en microgravité empêche cet effet, que ce soit au niveau mandibulaire ou maxillaire. En effet, la salive pourrait s'accumuler au niveau des bords des prothèses, du fait de la mouillabilité des muqueuses et de la prothèse, en supprimant ainsi l'interface air-liquide essentiel à cette forme de rétention.



Figure 10 : Le comportement de l'eau en microgravité

Chris Hadfield, Canadian Space Agency. "Wringing out Water on the ISS - for Science!"(56)

La gravité agit sur la rétention des prothèses amovibles complètes aussi, en tant que facteur négatif au niveau du maxillaire mais surtout en tant que facteur favorisant à la mandibule. Sans cette force, les prothèses amovibles totales muco-portées mandibulaires, déjà réputées comme étant assez inconfortables, seraient encore moins rétentives.

En microgravité, nous pouvons donc nous attendre à ce que la rétention des prothèses complètes soit grandement modifiée.

Prothèses partielles :

La rétention des prothèses amovibles partielles ne se fait pas de la même façon que pour les prothèses totales. Elle dépend de l'utilisation de crochets et/ou d'attache-ments de précision. Il n'y a pas de raison de croire que cette forme de rétention serait affectée par la microgravité ou par les variations de pression.

Il existe un risque commun aux prothèses amovibles, à la fois partielles et totales, lors des missions de longue durée : la fracture. Le bris d'une prothèse pourrait sévèrement affecter le coefficient masticatoire d'un spationaute. Bien qu'il existe des imprimantes tridimensionnelles (3D) sur la station spatiale internationale (ISS), et qu'il y en aura possiblement lors de futures missions vers Mars, la technologie d'empreintes 3D n'est pas encore suffisamment précise pour pouvoir fabriquer des prothèses amovibles prêtes à être utilisées.(57) Avec les connaissances et les technologies actuelles, il semblerait qu'il faille se méfier de l'utilisation des prothèses amovibles lors des missions de longue durée.

Implants dentaires :

De même, il existe très peu de littérature sur ce sujet.

Un rapport de cas, réalisé par Dr Claire Haigneré et Al. ne montre pas d'impact notable sur la stabilité et les hauteurs osseuses d'un implant dentaire chez un sujet ayant passé 6 mois sur la station Mir.(58)

Une autre étude in vitro évoque cependant une modification potentielle des cellules de l'attache épithéliale de l'implant en microgravité.(59)

Toutes ces prothèses présentent un risque de fracture qui peut être difficile, voire impossible à gérer en milieu isolé et sans matériel spécifique.

4. Bruxisme

Le bruxisme correspond à une activité répétitive des muscles masticateurs caractérisé par le « clenching » et/ou grincement des dents et/ou des propulsions mandibulaires. Il peut se produire pendant le sommeil ou en étant éveillé.(60)

Le bruxisme est source d'attritions, d'abfractions et d'hypersensibilités dentaires. Il augmente les risques de fractures dentaires. Il est un facteur aggravant pour les maladies parodontales ainsi qu'une source de dysfonctionnements des muscles masticateurs et des articulations temporo-mandibulaires.(61)

Les pilotes militaires ont une prévalence de bruxisme nettement plus importante que la moyenne(62). Il semblerait que le bruxisme présente des facteurs de risques psychosociaux (stress), comportementaux (praxie) et potentiellement de mimétisme.(61) Étant donné qu'un pourcentage important des astronautes sont des pilotes militaires de formation et que les missions spatiales sont très stressantes, on peut imaginer que la prévalence de bruxisme chez les astronautes soit, elle aussi, plus élevée que la moyenne.

5. Dermatologie et médecine buccale

Bien qu'il y ait eu plusieurs antécédents d'aphtes et de récurrences herpétiques pendant et en proximité immédiate avec les vols Apollo, ces lésions n'ont pas eu d'impact notable sur les missions.(63) Il a été démontré que, du fait de l'immunité diminuée des spationautes en microgravité, les virus Herpes avaient non seulement plus de risque de se réactiver, mais lors des réactivations, ils étaient excrétés en plus grand nombre. Il faut cependant noter que, dans cette étude, les virus herpès simplex 1 et 2, responsables des lésions herpétiques orales, ne se sont pas réactivés.(64)

Les risques de calculs salivaires ainsi que de cancers oraux pourraient également être augmentés en microgravité selon Dr Balwant RAI.(65)

Il semblerait donc que les spationautes affichent un risque augmenté en ce qui concerne plusieurs pathologies bucco-dentaires. Les agences spatiales sont conscientes de ces risques et ont recours à plusieurs systèmes pour prévenir et solutionner un éventuel événement dentaire lors des missions en orbite terrestre. Nous allons aborder ces méthodes dans le chapitre suivant.

II) Contrôles et précautions pré et per-vol

La santé des spationautes est une priorité absolue pour les agences spatiales. Un problème de santé d'un des membres de l'équipage pourrait compromettre toute la mission ! De plus, bien que l'évacuation des spationautes malades soit possible en orbite terrestre, cela paraît impossible lors d'une mission vers Mars.(8) Un vol partant de la Terre vers Mars prend 6 à 9 mois et les spationautes devront passer 1 an et demi sur la planète rouge du fait de l'orbite de ces deux planètes. Si une urgence médicale se déclarait sur le trajet aller il n'y aurait aucune possibilité de faire demi-tour.(47)

Une bonne santé dentaire est primordiale pour toute mission de longue durée en isolation. Bien qu'il y ait peu de risques vitaux en odontologie, une pathologie dentaire peut être extrêmement invalidante. Dans des études réalisées par la US Navy, il a été rapporté que entre 6,9 et 9,3% des évacuations de personnel des sous-marins furent pour une cause dentaire.(66)

Actuellement la santé des spationautes est assurée en premier lieu grâce à la prévention (avant et pendant leur vol), en second lieu par la mise à disposition d'une pharmacie et d'équipements médicaux et enfin par la formation médicale des membres de l'équipage.

A) Les moyens de prévention actuels

Comme dit précédemment, tout est fait pour s'assurer que les spationautes soient en aussi bonne santé, générale et orale, que possible au moment du décollage.

Premièrement nous pouvons remarquer qu'une sélection selon des critères médicaux rigoureux est mise en place avant la décision d'embauche d'un futur astronaute :

Sélection des spationautes

En général les candidats-astronautes européens doivent fournir plusieurs pièces d'information détaillées, subir plusieurs séries d'exams médicaux et psychologiques et participer à plusieurs entretiens.

La sélection médicale et psychologique est longue, durant environ 10 mois, et est divisée en plusieurs phases.

1ere Phase : Candidature en ligne

Les premiers éléments requis sont le certificat d'examen médical JAR-FCL 3 (Joint Aviation Requirements – Flight Crew Licencing) de classe 2 ou un certificat équivalent ainsi que plusieurs questionnaires médicaux.

Le JAR-FCL 3 de classe 2 :

Le JAR-FCL 3 requiert un examen physique et psychologique général, mis en œuvre par un centre médical approuvé par l'autorité nationale d'aviation du pays concerné. C'est un certificat requis pour être pilote privé d'un avion à moteur unique.

Afin d'obtenir le certificat il faut, entre autres, une absence de « malformation notable ou infection importante, significative, aiguë ou chronique, de la cavité buccale ou des voies aériennes supérieures » parmi de nombreux autres critères médicaux.(67)

Le Docteur Gilles Perrin, membre de la Société Française de Médecine Aérospatiale, évoque aussi la notion « d'absence d'altération de la denture susceptible d'entraîner une gêne importante de la mastication » sur son site « flying-doctor.org ».(68)

Dans tous les cas, les prérequis médicaux pour devenir astronaute sont beaucoup plus stricts que pour être pilote privé. Le Jar-FCL 3 permet seulement d'effectuer une pré-sélection.

Les questionnaires médicaux :

Il est aussi demandé au candidat de remplir plusieurs questionnaires médicaux très détaillés. Ils renseignent sur les antécédents médicaux, l'état de santé général, les antécédents familiaux ainsi que les habitudes sociales et le mode de vie du postulant.

2eme Phase : Examens psychologiques

Après étude de toutes les demandes en ligne, une pré-sélection est faite. Les candidats ayant passé cette étape de pré-sélection sont convoqués à une première évaluation psychologique. Cette évaluation dure une semaine et, en plus des tests psychologiques, les réponses aux questionnaires médicaux sont revues avec les candidats dans un centre médical attitré.

Après cette première sélection psychologique, les candidats restants sont convoqués à une deuxième évaluation qui dure, de nouveau, environ une semaine.

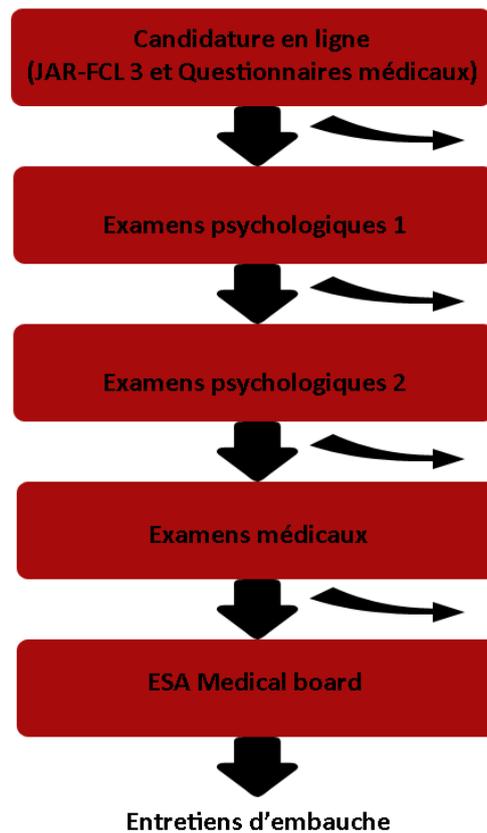


Figure 11 : La sélection médicale des candidats par l'ESA

3eme Phase : Tests médicaux

Une fois ces étapes validées, le candidat subit toute une batterie de tests médicaux afin d'évaluer son état de santé actuel et de déterminer le risque de développer certaines pathologies à l'avenir.

Le but étant de sélectionner uniquement les candidats exempts de maladie, en excellente santé et ayant le moins de risque possible de développer une pathologie dans l'avenir.

Les examens concernent les domaines suivants et se basent sur les standards établis pour les spécialités médicales correspondantes :

- Médecine générale ;
- Oto-rhino-laryngologie ;
- Ophtalmologie ;
- Pneumologie ;
- Cardiovasculaire ;

- Hématologie ;
- Abdomen et système digestif ;
- Endocrinologie et système métabolique ;
- Urologie ;
- Orthopédie et système musculosquelettique ;
- Dermatologie ;
- Neurologie ;
- Psychiatrie ;
- Gynécologie-Obstétrique ;
- **Odontologie ;**
- Maladies infectieuses ;
- Anthropométrie ;
- Taux d'irradiation ;
- Nutrition ;
- Forme Physique ;
- Tests spécifiques selon indications.

L'examen odontologique requiert un examen clinique et radiologique, comportant une radio panoramique ainsi que des radiographies rétro-alvéolaires de toutes les dents, datant de moins de deux ans.(8)

4eme Phase : ESA Medical Board

Ces tests se font sur une période de 10 jours. Une fois que tous les candidats ont été évalués, leur dossier médical est communiqué au conseil médical de l'European Space Agency (ESA Médical Board).

Le conseil médical de l'ESA est composé de nombreux experts européens, spécialistes des domaines médicaux listés précédemment. Le conseil émet des avis concernant la poursuite des candidats dans le processus de sélection.

Ainsi se termine la sélection médicale et psychologique des candidats. Ils devront ensuite faire leurs preuves lors d'un entretien d'embauche.(69)

Mais ce n'est pas pour autant que la santé dentaire est oubliée une fois l'astronaute embauché. A la National Aeronautics and Space Administration (NASA) les astronautes sont soumis à un examen oral complet annuel.

Ils sont classés en trois catégories :

- Les astronautes de classe I ayant une bonne santé orale. Il n'est pas attendu qu'ils aient besoin de subir de traitement dentaire, ni de revenir en consultation pendant les 12 mois qui suivent l'évaluation ;
- Les astronautes de classe II ayant quelques pathologies dentaires. Il n'est pas attendu que ces pathologies entraînent une urgence dans les 12 mois qui suivent l'évaluation, même sans traitement ;
- Les astronautes de classe III ayant des problèmes dentaires qui, sans traitement, pourraient être source d'urgence dans les mois qui suivent.

Il est attendu que tous les astronautes soient au minimum de classe II et seuls les astronautes de classe I avant la mission sont envisagés pour l'ISS.

En plus des contrôles annuels, les astronautes sont soumis à un examen « pré-vol » 18 à 21 mois avant le décollage. Pendant cet examen, l'astronaute subit un examen clinique et radiologique complet, dont des radios bitewing et un orthopantomogramme. Tous les soins nécessaires doivent être finis au plus tard 90 jours avant le décollage. Un autre contrôle est effectué entre 30 et 90 jours avant le lancement afin d'éliminer tout risque qu'une pathologie ait échappé aux contrôles précédents et pour déceler toute atteinte bucco-dentaire qui n'aurait pas été déclarée. Il est attendu que l'astronaute respecte une routine d'hygiène buccodentaire méticuleuse avant et pendant le vol.(47)

De plus, des vernis fluorés sont appliqués régulièrement avant la mission lorsque cela ne risque pas d'interférer avec d'éventuelles études qui seront menées en vol.(34) Il est envisagé de permettre aux équipages de pouvoir continuer à appliquer régulièrement des vernis fluorés durant les missions interplanétaires.(7)

Lors des missions Apollo, si une restauration dentaire s'avérait nécessaire pendant la période de 3 mois précédant le décollage, l'astronaute était soumis à une pression atmosphérique réduite pour s'assurer de l'état de la dent.(63) Comme nous l'avons vu, les barotraumatismes sont un phénomène complexe, dépendant de plusieurs facteurs et ne se déclarant pas systématiquement lors des variations de pression. Il est donc possible qu'une dent puisse passer entre les mailles du filet de ce type de contrôle.

Nous pouvons aussi souligner que les techniques de radiographie en deux dimensions (2D) (Orthopantomogramme et radiographies intra-orales) utilisées actuellement ne permettent pas de détecter de façon fiable toutes les lésions, notamment les fissures, fractures et canaux oubliés lors d'un traitement endodontique. Bien que les radios 2D présentent une bonne valeur diagnostique, les examens utilisant l'imagerie volumétrique par faisceau conique/Cone Beam Computed Tomography (CBCT) présentent une meilleure sensibilité.(70) L'utilisation d'examens radiographiques tridimensionnels, notamment le CBCT, pourrait être envisagée pour diminuer le nombre de faux négatifs lors des dépistages en vue de missions interplanétaires.(7)

Il est possible que l'un des critères de sélection pour les équipages des futures missions vers Mars soit « l'absence de toute carie dentaire » et il est facilement imaginable que des tests génétiques, tels que le Periodontal Susceptibility Test (PST) pour les parodontopathies, soient intégrés dans les examens de sélection à l'avenir.(71)

B) Le Matériel Médical

Malgré cette sélection très poussée et des moyens de prévention mis en place, la survenue d'un « évènement dentaire » lors d'une mission ne peut être écartée. En fonction de ce risque, les agences spatiales ont développé au fur et à mesure des plans de contingence adaptés.

Du fait de la courte durée des vols et les considérations de place dans l'habitacle et de poids, il n'a pas été jugé nécessaire d'inclure du matériel de soins dentaires lors des premières missions spatiales. Ainsi les missions Vostok, Mercury, Voskhod, Gemini et Apollo n'avaient pas de matériel spécifique pour les soins dentaires.

Même le matériel d'hygiène dentaire fut limité. Les astronautes des missions Mercury n'avaient rien avec eux. Lors des missions Gemini une brosse à dents faisait partie du matériel d'hygiène et ce n'est que lors des missions Apollo que le fil dentaire et dentifrice (Nasadent) furent inclus !(72)

Le dentifrice Nasadent fut inventé par Dr Ira L. Shannon. Il fut spécialement conçu pour une utilisation en mission spatiale, ne moussant pas et pouvant être avalé sans risques.(34) Le goût et la texture ne font pas unanimité et les astronautes peuvent demander des dentifrices classiques s'ils le désirent.

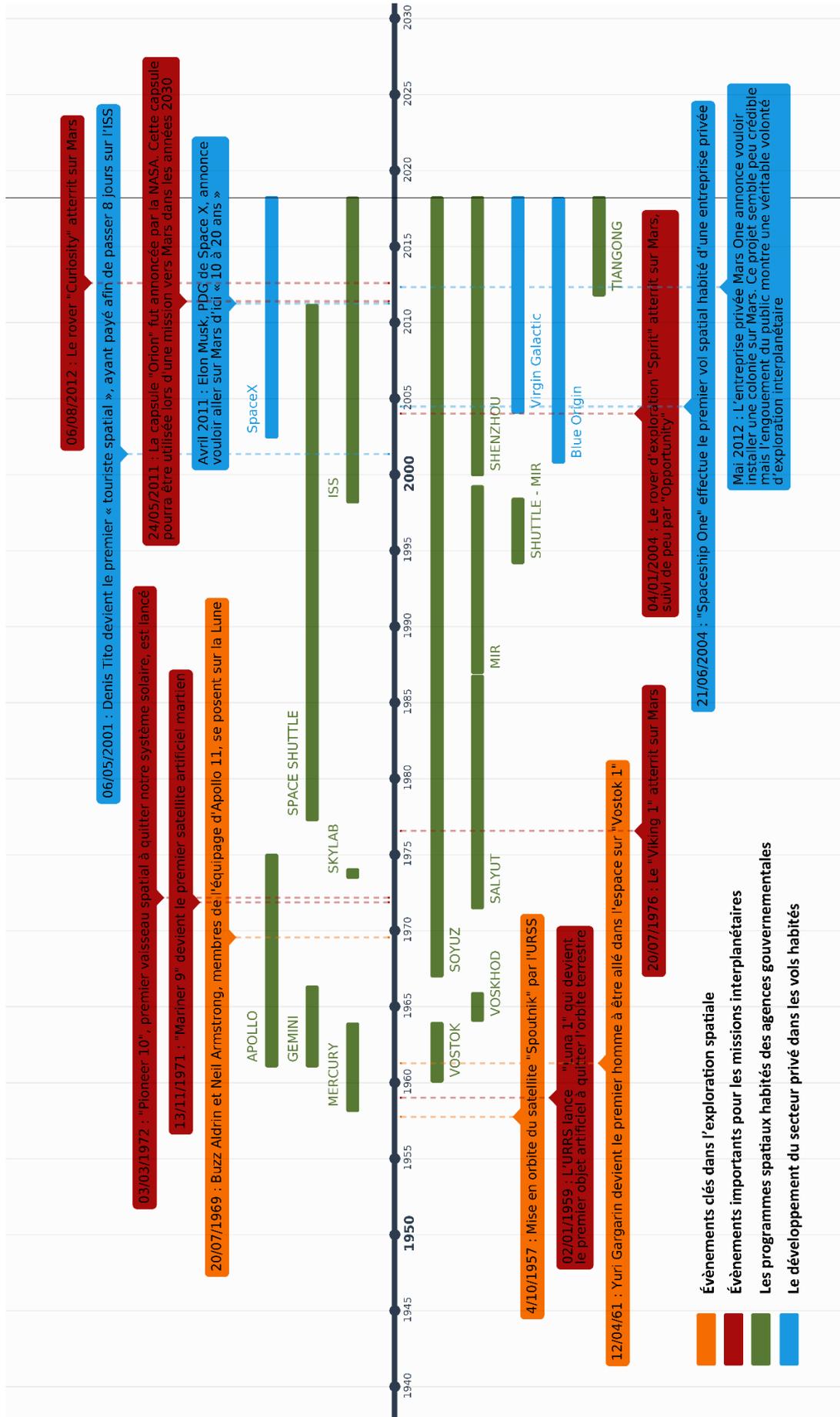


Figure 12 : La chronologie des missions spatiales

Les missions Salyut n'avaient, au début, pas de plan de contingence pour les événements dentaires. Cela a même posé de gros problèmes pour le cosmonaute Yuri Romanenko lors de son vol de 96 jours sur Salyut 6. Il aurait été atteint de douleurs dentaires incapacitantes pendant les 2 dernières semaines de sa mission. Les médecins de vol avaient été contactés mais ils n'ont pu que lui conseiller d'effectuer un bain de bouche et de « rester au chaud ».(73)

Ce ne fut pas un cas isolé, il y a eu plusieurs incidents évités de justesse :

Lors des vols Apollo, il n'y a pas eu d'évènement dentaire ayant une répercussion sur les missions, cependant cinq membres des équipages ont eu besoin de soins dentaires dans la fenêtre de 90 jours précédant le décollage !

En pré-vol il y a eu plusieurs cas de fractures dentaires ou de bris d'obturations ainsi que le diagnostic d'une carie jusque-là passée inaperçue. Plusieurs aphtes et récurrences herpétiques ont été remarqués avant, pendant ou après les vols.

Il y a eu deux cas de pulpite ; une 47 (31 selon le système de numérotation américain) atteinte pendant la période de pré-vol et une 12 (7 selon le système de numérotation américain) lors de la période post-vol. Si ces pathologies s'étaient déclarées pendant les vols cela aurait pu être extrêmement nuisible à la réussite des missions. En effet la pulpite, inflammation irréversible de la pulpe dentaire, cause d'importantes douleurs ne répondant que très peu aux antalgiques. Le traitement de choix est le traitement endodontique (dévitalisation), acte très technique et seulement réalisable dans un cabinet dentaire pleinement équipé.

Après une étude menée sur les astronautes d'Apollo, il fut estimé que la probabilité de survenu d'un événement dentaire incapacitant avoisinait un événement en 9000 Jours-Homme. La probabilité d'atteintes dentaires moins graves mais causant tout de même un inconfort important fut estimée à un par 1500 Jours-Homme. (63)

Au moment de la conception des missions Skylab les chances de survenue « d'évènement dentaire grave » furent estimées à 1% pour une mission de 84 Jours-Homme(74). Il y eut 6 « évènements dentaires » dans les 9 mois précédant les missions (Ulcération récurrente, gingivite, abcès péri-apicale...).(34)

Avec des missions qui se rallongeaient, le besoin de plans de contingences dentaires plus développés s'avérait nécessaire.

Bien qu'ayant été imaginé pour les missions Apollo, le premier kit de soins dentaires fut emmené dans l'espace lors des missions Skylab.

Le « Inflight Medical Support System » de Skylab, un véritable petit cabinet médical, contenait plus de 1300 objets différents, dont le matériel du kit de soins dentaires. Ce kit était composé d'un manuel de procédures dentaires et de tout l'équipement nécessaire pour mettre en place une obturation provisoire (oxyde de zinc-eugéno) ou réaliser une extraction dentaire sous anesthésie locale ou loco-régionale.(72)

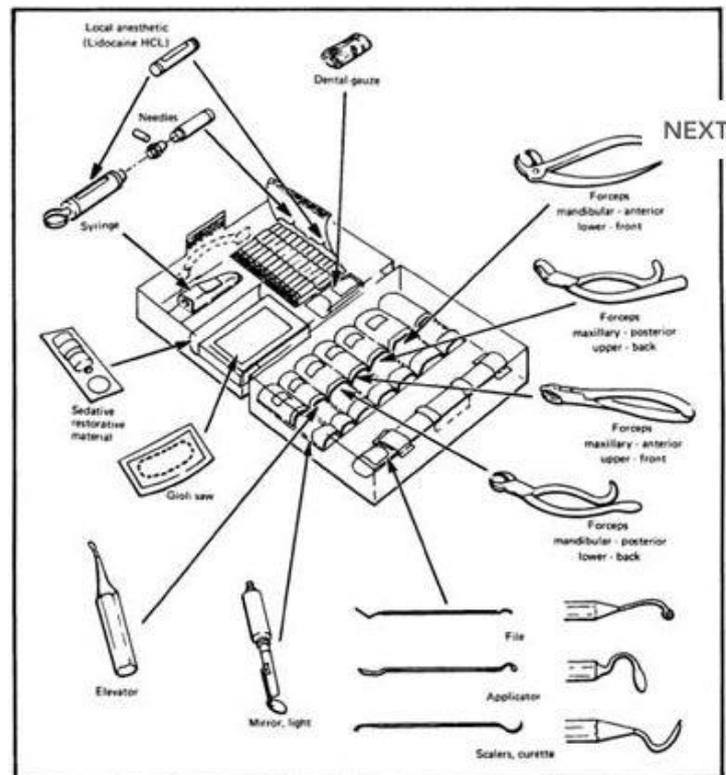


Figure 13 : Inflight medical support system (1)

Image issue du site « nasa.gov » (75)

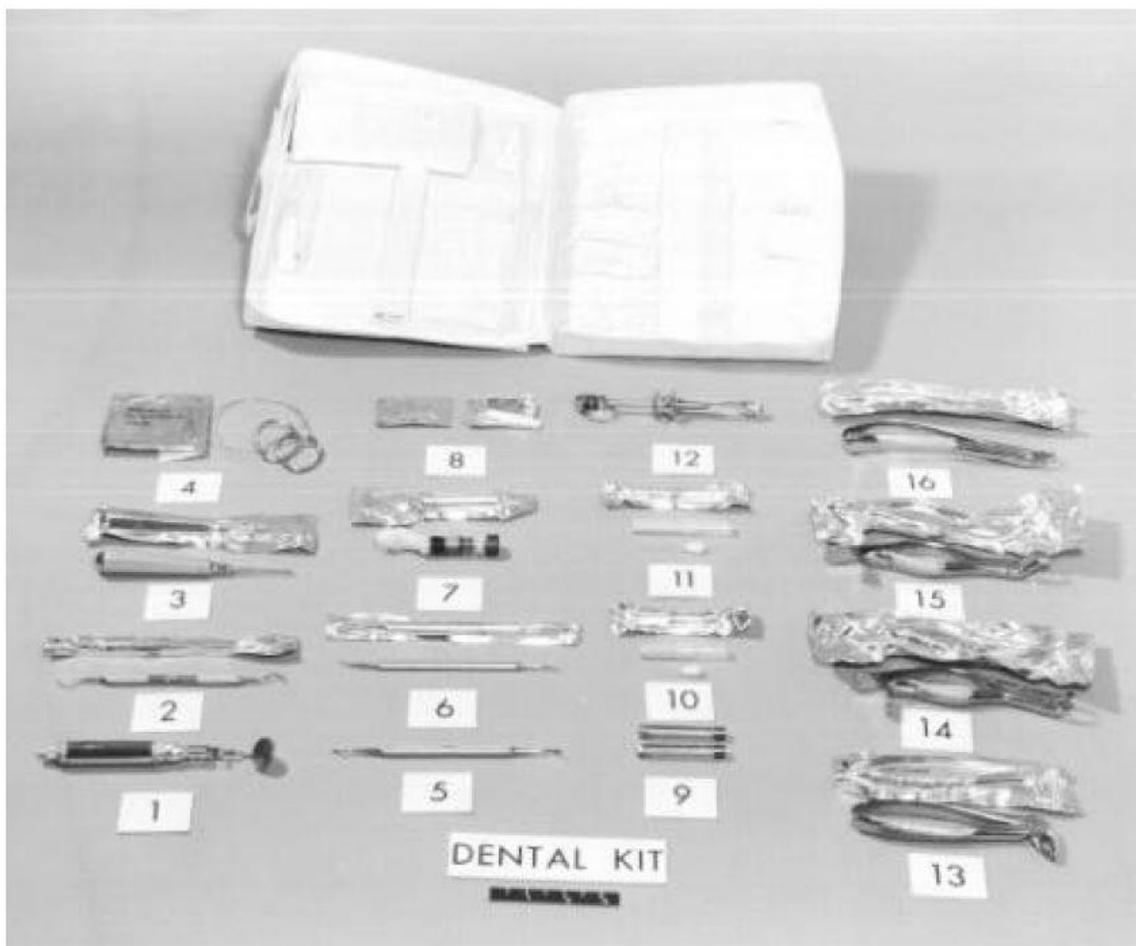


Figure 14 : Inflight medical support system (2)

Image issue du livre “50th Commemorative Anniversary of the United States Air Force Dental Service 1949-1999” (72)

Le « Integrated Medical Model (IMM) » est un modèle stochastique utilisé par la NASA pour simuler des événements médicaux et déterminer l’impact de ces événements sur une mission donnée.

Les incidences actuellement retenues pour les événements dentaires sont les suivantes (en événement par personne-année) :

- Carie 0.39 ;
- Abscess 0.02 ;
- Exposure pulpaire et/ou pulpitis 0.02 ;
- Avulsion/perte dentaire 0.003 ;
- Perte de couronne ou d’obturation dentaire 0.005 (7)

Des capacités de soins dentaires sont donc toujours nécessaires pour les vols en orbite basse.

Il y a deux kits médicaux séparés sur l'ISS, un du côté Russe et un du côté Américain.(76)

La Nasa a divulgué le manuel de procédures dentaires de l'ISS ainsi que le contenu du kit de matériel médical et la pharmacie de l'ISS disponibles sur le site « Governmentat-tic.org ».(77) Vous en trouverez un extrait en annexe.(Annexe 1)

Il y a un kit de matériel spécifiquement dédié aux soins dentaires contenant :

- Lime à amalgame ;
- Spatule à bouche ;
- Dépose couronne ;
- Sonde dentaire ;
- 2 modèles d'élévateur ;
- 3 modèles de davier ;
- Miroir intra-buccal ;
- Sac poubelle.

Mais il y a d'autres éléments nécessaires aux soins dentaires dans les autres sacs :

- 36 compresses 10x10cm ;
- 10 paires de gants en nitrile (large) ;
- 10 paires de gants en nitrile (Médium) ;
- 10 paires de gants en nitrile (Petit) ;
- Applicateurs topiques de Benzocaïne 20 %, 0.15ml ;
- Lidocaïne (Xylocaïne) et Epinéphrine 2% avec 1/100,000 d'épinéphrine, 20ml pour injection sous cutanée ;
- Lidocaïne (Xylocaïne) 1 %, 10ml pour injection sous cutanée ;
- 20 aiguilles de 23G (longueur non précisée) ;
- 4 aiguilles de 25G (longueur non précisée) ;
- 20 seringues de 3ml ;
- 6 seringues de 5ml ;
- 5 seringues de 10ml ;
- 2 scalpels n°11 ;
- Précelle lisse ;
- Ciseaux pour sutures ;
- Précelle crantée ;

- 2 fils de suture 3-0 résorbable ;
- 2 fils de suture nylon 2-0 ;
- 2 fils de suture nylon 5-0 ;
- 2x1ml d'Eugénol ;
- Ciment de scellement temporaire auto-mélangeant ;
- 4 embouts pour le ciment de scellement ;
- Pansement dentaire ;
- Papier marqueur (un paquet) ;
- Boulettes de coton x 40 ;
- Solution à base d'iode 5%, 0,8ml x 28.(8)

Concernant la pharmacie, il y a une grande partie des médicaments habituellement prescrits dans le cadre de soins dentaires :

Antalgiques :

- Paracétamol/ Acétaminophène (325mg x 150 comprimés) ;
- Hydrocodone + Acétaminophène (10mg/300mg x 30 comprimés) ;

Anti-inflammatoire non stéroïdien :

- Ibuprofène (400mg x 400 comprimés) ;

Anti-inflammatoire stéroïdien :

- Prednisone (20mg x 40 comprimés) ;

Antibiotiques :

- Amoxicilline (500mg x 100 comprimés) ;
- Clindamycine (300mg x 100 comprimés) ;
- Métronidazole (500mg x 100 comprimés) ;

Antifongique :

- Fluconazole (150mg x 5 comprimés) ;

Antiviral :

- Valacyclovir (1g x 60 comprimés).(77)

Il faut cependant noter que la concentration sanguine en principe actif n'est peut-être pas prévisible selon les mêmes schémas que sur Terre. Plusieurs rapports de « flight surgeons » (médecins de vol) ont noté une efficacité diminuée de certains médicaments oraux. Plusieurs

phénomènes peuvent être mis en cause, notamment la biodisponibilité, le volume de distribution, la clairance, la stabilité moléculaire des médicaments, leur pharmacodynamie ainsi que le rythme circadien modifié.

Des études approfondies devront être menées afin de déterminer si la pharmacocinétique et dynamique des médicaments sont véritablement différentes sur Terre ou en micro gravité pour adapter la dose et/ou galénique des médicaments en conséquence.(78)(79)

C) La formation médicale de l'équipage

Formation médicale sur terre

Comme nous venons de le voir, une quantité conséquente de matériel médical fut progressivement intégrée lors les vols habités. Mais il faut bien évidemment former les spationautes pour qu'ils puissent s'en servir si besoin.

En parallèle avec le développement du kit dentaire de « l'Inflight Medical Support System » de Skylab, les dentistes de la Nasa formaient un homme sur 3 de chaque équipage à l'utilisation de ce matériel. Un jour et demi de pratique était prévu dans une clinique dentaire de l'USAF où les astronautes ont réalisé des extractions et mis en place des pansements sur des patients volontaires.

Suite à cette formation brève, Joseph Kerwin, astronaute membre de l'équipage de Skylab 2, estimait tout de même pouvoir effectuer une extraction dentaire durant une mission si nécessaire. (74)

Le but de cet apprentissage n'était pas de former des professionnels de santé mais des techniciens, capables de respecter parfaitement des protocoles de soins. De même, l'idée n'était pas de pouvoir produire des soins dentaires comme sur Terre mais simplement de pouvoir mettre en place des soins palliatifs et de temporiser jusqu'à la fin de la mission pour une prise en charge complète.

Heureusement il n'y a jamais eu d'événement dentaire déclaré ayant nécessité des soins lors des missions Skylab. Des examens dentaires furent tout de même exécutés, comme nous pouvons le voir sur la photo suivante où Kerwin examine son commandant de vol Charles Conrad.



Figure 15 : Examen dentaire en microgravité

Image issue du site internet « Nasa.gov »(80)

De nos jours, pour les vols sur l'ISS, des « Crew Medical Officers » (CMO) sont formés afin de prodiguer les soins médicaux. Il y a deux CMO lors de chaque mission et ils sont formés à utiliser le matériel médical à bord afin de répondre à diverses urgences médicales.

Les CMO, qui ne sont pas forcément des médecins de formation, subissent une préparation qui dure entre 40 et 80 heures selon les sources. Cette formation est très chargée (Figures 16 et 17) et doit respecter des délais stricts.(81)

TABLE 24-4			
Sample Template of U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) Medical Training for International Space Station (ISS) Crewmembers			
<i>Class or Practical Session</i>	<i>Crew</i>	<i>Time</i>	<i>Time Before Launch</i>
ISS space medicine overview	Entire crew	0.5 hr	18 mo
CHeCS overview	Entire crew	2 hr	18 mo
Cross-cultural factors	US only	3 hr	18 mo
Psychological support familiarization	US only	1 hr	18 mo
Countermeasures system operations 1	Entire crew	2 hr	12 mo
Countermeasures system operations 2	Entire crew	2 hr	12 mo
Toxicology overview	Entire crew	1 hr	12 mo
EHS microbiology operations and interpretation	ECLSS	2 hr	12 mo
EHS water quality operations	ECLSS	2 hr	12 mo
EHS toxicology operations	ECLSS	1 hr	12 mo
EHS radiation operations	ECLSS	1.5hr	12 mo
Carbon dioxide exposure training	Entire crew	1 hr	12 mo
Psychological factors 1	US only	2 hr	10 mo
Dental procedures	CMOs	1 hr	8 mo
ISS medical diagnostics 1	CMOs	3 hr	8 mo
ISS medical diagnostics 2	CMOs	2 hr	8 mo
ISS medical therapeutics 1	CMOs	3 hr	8 mo
ISS medical therapeutics 2	CMOs	3 hr	6 mo
ACLS equipment	CMOs	3 hr	6 mo
ACLS pharmacology	CMOs	3 hr	6 mo
ACLS protocols 1	CMOs	2 hr	4 mo
ACLS protocols 2	CMOs	2 hr	4 mo
Cardiopulmonary resuscitation	Entire crew	2 hr	4 mo
Psychiatric issues	US only	2 hr	4 mo
Countermeasures system evaluation operations	CMOs	3 hr	4 mo
Neurocognitive assessment software	US only	1 hr	4 mo
Countermeasures system maintenance	OOM	2.5 hr	4 mo
EHS Preventive and Corrective Maintenance	OOM	1 hr	4 mo
ACLS "megacode" practical exercise	Entire crew	3 hr	3 mo
Psychological factors 2	US only	2 hr	1 mo
Medical refresher	Entire crew	1 hr	2 wk
CMO computer-based training	CMOs	1 hr/mo	Onboard
CHeCS health maintenance system contingency drill	Entire crew	1 hr	Onboard

CHeCS, crew health care system; ACLS, Advanced cardiac life support; CMO, crew medical officer task allocation; ECLSS, environmental control and life support system task allocation; EHS, environmental health system; OOM, on-orbit maintenance task allocation.

Figure 16 : Exemple de programme de formation médicale de la NASA pour l'ISS

Tableau tiré du livre "Fundamentals of Aerospace Medicine" (81)

Comme nous le voyons sur le tableau ci-joint (Figure 16), une heure est allouée à la formation pratique de ces soins dentaires, précédée d'une demi-journée de formation théorique.

Après cet apprentissage le CMO est censé être capable de réaliser des anesthésies dentaires, mettre en place des obturations provisoires, resceller provisoirement une couronne, traiter une exposition pulpaire et, s'il n'y a aucun autre traitement possible, avulser une dent. Il est important de souligner que l'avulsion doit être réservée en dernier recours puisque ce n'est pas une intervention sans risque. Une heure de formation est bien évidemment insuffisante pour acquérir une pratique parfaite et autonome de ces gestes.

TABLE 24-5

Sample Template of Russian/Russian Space Agency Medical Training for International Space Station (ISS) Crewmembers

<i>Class or Practical Session</i>	<i>Crew</i>	<i>Time (hr)</i>	<i>Session Type</i>
1. Medical diagnostics, crew health care system			
Principles and methods of rendering first aid inspaceflight	Entire crew	2	Lecture
Instruction on diagnosing conditions and rendering self and mutual aid using the flight pharmacy and medical kits	Entire crew	2	Practical
Stomatology	Russian only	1	Practical
Epidemiology	Russian only	1	Lecture
2. Physical training			
Theoretic principles of cosmonaut physical training	Entire crew	2	Lecture
Onboard physical deconditioning countermeasures			
3. Technical training			
Medical monitoring hardware gamma system	Entire crew	2	Lecture/Practical
Medical monitoring hardware: mass measurement, urinalysis, mini centrifuge, blood chemistry analyzer, blood pressure monitor	Entire crew	2	Lecture/Practical
Medical monitoring hardware: laboratory refrigerator, large centrifuge	Entire crew	0.5	Practical
α -11 biomedical monitoring apparatus	Entire crew	0.5	Practical
Physical countermeasure items: cycle ergometer, LBNP "Chibis" device, Myostimulator "Tonus" device	Entire crew	2	Lecture/Practical
Layout of the onboard medical support system	Entire crew	1	Practical
4. Biomedical section of flight program			
Soyuz transport vehicle and ISS Russian segment (RS) medical support system			
Arrangement of spaceflight medical support: overview	Entire crew	1-2	Lecture
ISS RS medical monitoring system	Russian only	2	Lecture
Countermeasures system in long-duration spaceflight	Entire crew	1	Lecture/Practical
Sanitary and hygiene facilities 1	Entire crew	2	Lecture/Practical
Sanitary and hygiene facilities 2	Entire crew	1	Practical
Onboard food system	Entire crew	2	Lecture/Practical
Radiation safety	Entire crew	1	Lecture/Practical
Countermeasures hardware: kentaver, penguin suits, brazlet, electromyostimulation, pharmacology	Entire crew	2	Practical
Hearing protection set	Entire crew	0.3	Practical
Onboard food ration taste test	Entire crew	4	Taste testing
Onboard menu trial (crewmember substitutes meals with flight-like food rations for a 6-day menu cycle)	Entire crew		Meal substitution
Onboard noise level measurement	Russian only	0.5	Practical
Medical monitoring			
Study of cardiac bioelectric activity	Entire crew	1	Practical
24-hour ECG recording	Entire crew	1	Practical
Physical conditioning level evaluation (treadmill test)	Entire crew	1	Practical
Evaluation of orthostatic tolerance during LBNP	Entire crew	2	Practical
Physical training level evaluation (cycle ergometer)	Entire crew	1.25	Practical
Evaluation of arm musculature	Entire crew	0.5	Practical
Calf volume measurement	Entire crew	0.25	Practical
Body mass measurement	Entire crew	0.5	Practical
Biochemical urine analysis	Entire crew	1	Practical
Hematocrit	Entire crew	1	Practical
Reflotron biochemical blood analyzer	Entire crew	2	Practical
ECG at rest	Entire crew	1	Practical
Microbiologic environmental monitoring	Entire crew	2	Practical
Sanitary-epidemiologic monitoring	Entire crew	0.25	Practical
Trace gas environmental contaminants	Entire crew	0.25	Practical
Refresher training	Entire crew	2	Lecture/Practical
Test on biomedical section of flight program	Entire crew	2	Exam

ISS, International Space Station; LBNP, lower body negative pressure; ECG, electrocardiogram.

Figure 17 : Exemple de programme de formation médicale de Roscosmos pour l'ISS
Tableau tiré du livre "Fundamentals of Aerospace Medicine"(81)

Les traitements sont réalisés en communication avec les médecins de vol, restés sur Terre, même si la formation des CMO et les fiches de protocole devraient permettre une autonomie relative pour certains actes, si nécessaire.

Tout comme lors des missions Skylab, les traitements sont principalement à visée temporaire afin de permettre au patient de terminer sa mission dans des conditions tolérables en attendant un retour sur Terre.

Il faut cependant noter que, puisque l'ISS se situe en orbite terrestre basse, en cas d'urgence médicale grave le spationaute serait évacué vers la Terre pour des soins appropriés.(47)

Difficulté additionnelle du traitement en microgravité

Travailler dans la cavité orale pose des problèmes particuliers en microgravité. Sans l'effet de la gravité, la respiration a tendance à aspirer tout ce qui est faiblement ancré en bouche vers les poumons. De plus, la troisième loi de Newton selon quoi « L'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraires » a des conséquences très marquées en microgravité. Des procédures simples peuvent devenir très compliquées si des précautions adéquates ne sont pas prises ; même une simple anesthésie pourrait envoyer soignant et soigné dans deux directions opposées. Ce problème n'est bien évidemment pas spécifique aux soins dentaires, imaginez devoir effectuer un massage cardiaque en microgravité !(47)(82)

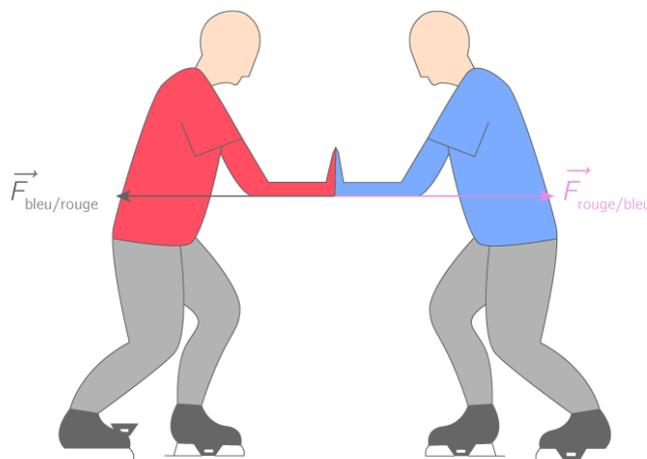


Figure 18 : La troisième loi de Newton

Image issue du site internet « Kartable.fr » (83)

L'immobilisation des instruments et déchets du soin est importante aussi puisque, sans contention adaptée, ces matériaux flotteraient à la dérive. Les CMO sont très sensibilisés à ce sujet.(8)

Actuellement, du fait des coûts en énergie, en poids et en place, l'ISS n'est pas équipée d'appareils pour des examens radiologiques.(84) Il est cependant possible qu'un équipement permettant de réaliser radiographies, et notamment des radiographies dentaires, soit développé pour les missions interplanétaires.

Les traitements radiculaires et autres traitements dentaires complexes ne sont actuellement pas réalisables en mission spatiale du fait du matériel disponible et de la formation limitée du personnel soignant.(65) Il sera donc essentiel de détecter tout problème dentaire aussi tôt que possible afin de permettre un traitement interceptif simple.

Un autre souci est le maintien du niveau de connaissance et de pratique des CMO lors des missions de longue durée. Lors d'une mission vers Mars, la communication avec les équipes médicales sur Terre ne sera pas toujours possible. Il faut donc que les CMO puissent maintenir un niveau suffisant de connaissance pour agir en autonomie si nécessaire.(85)

Le CMO a accès à deux ressources médicales :

- Le manuel des procédures, qui est écrit et mis à jour par les médecins de vol. Il contient aussi peu de termes médicaux que possible afin d'en simplifier la compréhension des procédures, décrites étape par étape, basées uniquement sur l'équipement et les médicaments présents à bord de l'ISS.
- La réunion médicale privée (RMP), qui met en communication le CMO et le médecin de vol sur une ligne privée. Ces réunions sont quotidiennes les premiers jours d'une mission sur l'ISS avant de devenir hebdomadaires, hormis à la demande d'un des membres de l'équipage. Lors d'un événement médical, si suite à cette communication il est estimé qu'il n'y aura pas de conséquence pour la mission, la seule chose qui est dite dans le rapport de la RMP est « Pas de conséquence pour la mission ». Si l'évènement risque d'affecter la mission, seul le strict minimum est divulgué dans le rapport afin de respecter le secret médical autant que possible. Ces téléconsultations permettent au CMO d'avoir accès à un avis expert sans toutefois porter atteinte à la vie privée des membres de l'équipage.(8)

Pour les missions en orbite terrestre, une évacuation pourrait être envisagée si la gestion de l'urgence médicale dépasse les capacités des CMO. Il faut moins de 4 heures entre la prise de décision d'évacuer le spationaute et son retour sur terre. Cependant en quittant l'orbite terrestre la procédure devient plus complexe. Une évacuation à partir d'une base lunaire prendrait plusieurs jours et pour une mission vers Mars il n'y aurait probablement pas du tout de possibilité d'évacuation !

Lors des missions d'exploration lointaines, il faudra donc que les équipages, et notamment les CMO, aient une autonomie bien au-delà de leurs capacités actuelles.(8)

Il est attendu que tout spationaute potentiel maintienne une parfaite santé générale et dentaire et respecte de bonnes pratiques d'hygiène orale.(65) C'est un point très important car malgré toutes les avancées de la dentisterie spatiale, c'est la prévention qui apporte le plus.

Nous pouvons donc voir que, en plus de la prévention, d'importants moyens sont mis œuvre, à la fois au niveau matériel ainsi qu'au niveau de la formation de l'équipage et plus particulièrement des CMO. Il n'y a pas pour autant une totale autonomie médicale. Le monitoring et la gestion des événements médicaux se font avec l'aide de l'équipe médicale au sol. C'est ainsi qu'intervient la télémédecine et plus particulièrement la télémédecine bucco-dentaire.

III) Télésanté, Télémedecine et Télémedecine bucco-dentaire

E-santé, télésanté, télémedecine, télémedecine bucco-dentaire... Ces mots apparaissent de plus en plus fréquemment, mais que signifient-ils ? Dans cette partie nous allons définir ces termes avant d'expliquer la place actuelle de la télémedecine bucco-dentaire sur terre.

A) Définitions

Tout d'abord il faut savoir que ces termes sont souvent utilisés indifféremment et que les définitions varient énormément en fonction des auteurs.(86)

L'**e-santé**, terme le plus vaste parmi ceux cités précédemment, correspond à l'application des technologies de l'information et de la communication (TIC) au service de l'ensemble des activités de santé.

C'est un terme très vague qui assemble deux sous-groupes : Télésanté et Informatique médicale.(87)

Selon le « Health Resources and Services Administration » la **télésanté** est : « l'utilisation des Technologies de l'information et de la communication afin de promouvoir à distance les soins de santé, l'éducation médicale des praticiens et patients, la santé publique et l'administration sanitaire ».(88)

Major areas of telehealth technology applications

Teleconsultation Telediagnosis Tele-treatment	The patient, with the local health professions, consults the specialist and obtains the line of treatment
Tele-education Tele-training	For continuing professional development (CPD) and training for oral health professionals Methods for sharing scientific knowledge, such as e-publication, open access, digital literacy and the use of social networks
Tele-monitoring	Regular monitoring of physical and/or biochemical parameters in chronically ill patients (dialysis and cardiorespiratory patients, etc.) for intensive care and/or emergency care
Tele-support	Support to remote health facilities located in isolated areas, remote places or in areas affected by natural disasters, armed conflict, etc.
Tele-administration	Electronic medical records or electronic health record and the use of communications technology for purely administrative work (e.g. scheduling and managing appointments)
Consumer medical and health information	Websites used for both clinical and educational purposes combine different applications ranging from merely informative (static) pages to completely interactive applications

Figure 19 : Les principales applications de la télésanté

Image issue du livre "e-Health Care in Dentistry and Oral Medicine" (89)

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ne différencie pas télésanté et télémédecine. Cependant la plupart des auteurs s'accordent à dire que la télémédecine est en fait une branche de la télésanté.

La **télémédecine** est un terme apparu dans les années 70', signifiant « soigner à distance » (le préfixe télé vient du grec ancien et signifie « à distance »). C'est l'exercice de la médecine au travers des technologies de l'information et de la communication.

La définition actuelle proposée par l'article L6316-1 du Code de la santé publique française est très précise :

« La télémédecine est une forme de pratique médicale à distance utilisant les technologies de l'information et de la communication. Elle met en rapport, entre eux ou avec un patient, un ou plusieurs professionnels de santé, parmi lesquels figure nécessairement un professionnel médical et, le cas échéant, d'autres professionnels apportant leurs soins au patient.

Elle permet d'établir un diagnostic, d'assurer, pour un patient à risque, un suivi à visée préventive ou un suivi post-thérapeutique, de requérir un avis spécialisé, de préparer une décision thérapeutique, de prescrire des produits, de prescrire ou de réaliser des prestations ou des actes, ou d'effectuer une surveillance de l'état des patients.»(90)

Dans cette définition l'acte médical est clé et les notions de formation, de recherche et de gestion sont mises de côté. La télémédecine serait donc la branche de la télésanté à visée clinique.

Afin de représenter les rapports de ces termes entre eux nous pouvons proposer le schéma suivant :

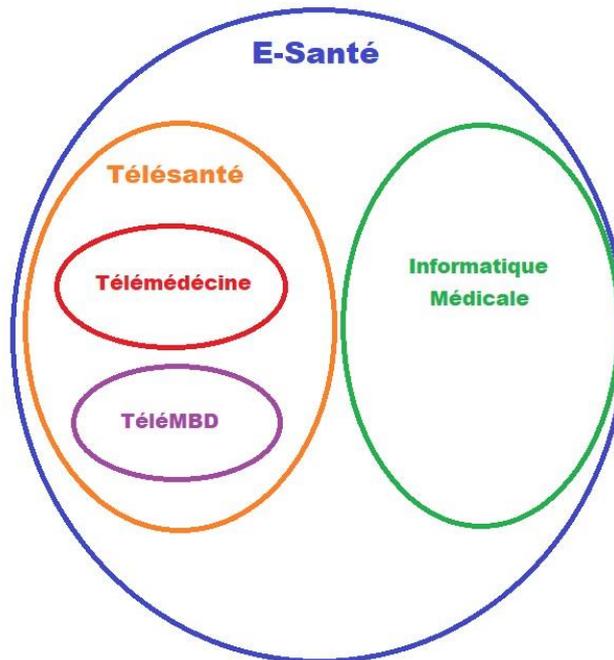


Figure 20 : Le monde de l'e-santé

La télémédecine peut s'exercer sous trois formes : en temps réel, en différé et en quasi-temps réel.

Le temps réel est, comme son nom l'indique, une communication directe entre les parties concernées. Une consultation par téléconférence serait un bon exemple de télémédecine en temps réel.

La télémédecine en différé est plus facile à mettre en œuvre. Les informations sont collectées, stockées et consultées au gré de chaque partie. Ce serait par exemple le cas de documents médicaux, transférés par email. Le praticien consultant pourrait prendre le temps de consulter l'email et d'y répondre selon ses disponibilités.

La télémédecine en quasi-temps réel est une alternative au temps réel lorsque le débit de communication est limité.(89)

Le décret n° 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télémédecine définit 5 types d'actes médicaux relevant de la télémédecine :

« **1° La téléconsultation**, qui a pour objet de permettre à un professionnel médical de donner une consultation à distance à un patient. Un professionnel de santé peut être présent auprès du patient et, le cas échéant, assister le professionnel médical au cours de la téléconsultation ;

2° La téléexpertise, qui a pour objet de permettre à un professionnel médical de solliciter à distance l'avis d'un ou de plusieurs professionnels médicaux en raison de leurs formations ou de leurs compétences particulières, sur la base des informations médicales liées à la prise en charge d'un patient ;

3° La télésurveillance médicale, qui a pour objet de permettre à un professionnel médical d'interpréter à distance les données nécessaires au suivi médical d'un patient et, le cas échéant, de prendre des décisions relatives à la prise en charge de ce patient. L'enregistrement et la transmission des données peuvent être automatisés ou réalisés par le patient lui-même ou par un professionnel de santé ;

4° La téléassistance médicale, qui a pour objet de permettre à un professionnel médical d'assister à distance un autre professionnel de santé au cours de la réalisation d'un acte ;

5° La réponse médicale qui est apportée dans le cadre de la régulation médicale mentionnée à l'article L. 6311-2 et au troisième alinéa de l'article L. 6314-1. »(91)

Il est compliqué de dater précisément les premiers usages de la télémédecine cependant il ne s'agit pas d'un phénomène récent ; Au XIV^{ème} siècle des feux étaient utilisés afin de signaler des foyers de peste bubonique. Cependant certains ne datent les débuts de la télémédecine qu'au moment de l'arrivée de la communication électronique dans les années 1850.(92) Le télégraphe fut utilisé en temps de guerre pour signaler les blessés et commander le matériel médical. Avec l'invention du téléphone et de la radio, les applications de la télémédecine se diversifient encore plus. Au début du 20^{ème} siècle des données d'électrocardiogramme (ECG) furent transmises via les lignes téléphoniques. La télémédecine fit un nouveau bond en avant lors des premiers vols spatiaux habités.(93) Bien entendu, aujourd'hui avec internet, les ordinateurs et les smartphones ainsi que l'intérêt grandissant, les possibilités sont infiniment plus grandes.

En parallèle de la télémédecine, la **télémédecine bucco-dentaire** correspond à l'utilisation des TIC pour les soins dentaires, consultations et expertises en vue d'améliorer la santé orale des patients. La Télémédecine bucco-dentaire peut aider les omnipraticiens lors de soins nécessitant en temps normal un rendez-vous séparé chez un spécialiste ou peut servir les populations de milieux isolés.(94)

Cette branche spécifique au service de la santé orale semble être relativement récente comparé à la télémédecine vue précédemment.

B) Les applications

Comme nous l'avons vu lors de l'évènement dentaire de M. Romanenko lors des missions de Salyut 6, les médecins au sol furent contactés et ont établi un plan de traitement. Même si l'efficacité de cette intervention fut limitée, il s'agissait d'une consultation de télémédecine bucco-dentaire. Les cas isolés d'utilisation de la télémédecine bucco-dentaire comme celui-ci doivent être nombreux, que ce soit lors de missions spatiales ou sur la Terre en milieu isolé. Cependant le premier cas de téléconsultation dentaire organisé à grande échelle fut le projet « Total dental access » de l'armée américaine.

Mis en place en 1994, Total Dental Access avait pour but d'améliorer la formation dentaire du personnel, la qualité des soins ainsi que d'offrir un moyen de communication entre laboratoires de prothèse et chirurgiens-dentistes. Dans le cadre de ce projet, des consultations ont été réalisées sur des patients éloignés de plus de 160km.(95)(96)

La télémédecine bucco-dentaire se développe beaucoup plus lentement que certaines autres spécialités médicales. Il y a eu de nombreux projets mis en place dans divers pays qui ont montré l'efficacité de l'utilisation des TIC pour la santé orale sans pour autant que cela aboutisse à une pratique permanente.

Une étude a été réalisée en Australie, comparant les diagnostics de consultations classiques et consultations en téléMBD en temps réel réalisées sur les mêmes patients. Une caméra Soprolife d'Actéon fut utilisée pour les téléconsultations. Les diagnostics concordaient à 0.94 (excellent) en cariologie et à 0.74 (bon) en parodontologie selon les statistiques Kappa.(96)

Un bon exemple d'application actuelle de la télémédecine bucco-dentaire serait le projet e-dent développé au Centre Hospitalier Universitaire de Montpellier. Depuis 2014 plus de 2000 patients ont été « vus » par un praticien de façon asynchrone et à distance. Le projet se base sur la formation d'Infirmiers Diplômés d'État (IDE) sur des notions générales de santé orale ainsi que la manipulation d'une caméra intrabuccale à fluorescence.

Les IDE réalisent les clichés intraoraux et transmettent les informations au praticien pour analyse. Après réalisation de la téléexpertise, le praticien émet des recommandations de soins et, si nécessaire, les patients sont envoyés vers des spécialistes adaptés : praticien de ville, praticien avec MEOPA, soins dentaires sous anesthésie générale etc.(89)

Des projets similaires ont été appliqués aux diverses spécialités de l'odontologie : Endodontie, orthodontie, prothèse, parodontie, odontologie pédiatrique, médecine orale... Dépistages, diagnostics et contrôles ont été réalisés avec succès grâce aux techniques de télémédecine bucco-dentaire.(97)

Il est intéressant de noter que ces protocoles ne consistent qu'à examiner les patients, puis à conseiller ou à adresser s'il y a besoin de soins. La télémédecine bucco-dentaire interventionnelle commence à se développer, en orthodontie notamment, mais nous sommes encore loin des avancées de la télémédecine où il est possible d'opérer à distance.(98)

IV) Télémédecine bucco-dentaire spatiale pour les missions interplanétaires

La télémédecine a toujours été très présente à bord des vols spatiaux habités. Durant les vols du projet Mercury, la fréquence respiratoire, la tension artérielle, l'ECG, la température rectale et la conductivité de la peau des astronautes furent surveillés depuis la Terre. Les membres des équipages Apollo portaient des harnais à biocapteurs tout au long de leurs missions.

Skylab fut la première mission américaine où un monitoring continu des astronautes n'était pas prévu. Le suivi avait seulement lieu pendant certaines phases clés de la mission (décollage, amarrage, sorties extravéhiculaires, désarrimage, et retour). Des consultations médicales privées furent établies de façon hebdomadaire ou sur demande.

La télémédecine dans le programme russe a suivi une évolution similaire.(8)

Comme nous avons vu précédemment, l'utilisation de la télémédecine bucco-dentaire est non seulement possible mais a déjà été appliquée lors de missions spatiales. Si un événement dentaire se déclare, les informations peuvent être transmises par le CMO après examen ou éventuellement par le patient lui-même. L'équipe médicale sur Terre peut guider l'examen clinique du CMO, en plus des fiches de protocoles et de diagnostic. Cependant du fait de sa formation dentaire peu poussée, il est possible que des données importantes échappent au CMO si une simple description orale ou écrite de la situation est utilisée.

L'utilisation et la transmission d'examens complémentaires est donc nécessaire afin de permettre à l'équipe médicale sur Terre de produire un diagnostic et conseiller un plan de traitement précis. L'utilisation de la photographie, actuellement préconisée dans les protocoles de soins dentaires de l'ISS en est un bon exemple. (Annexe 1)

Comme dit précédemment, les missions interplanétaires seront amenées à durer plusieurs années. Afin de minimiser les chances de survenue d'événements dentaires et de mieux comprendre l'impact de ce type de mission sur la sphère orale, prévoir des consultations dentaires régulières semblerait nécessaire.

En effet, comme nous l'avons vu, le CMO n'est formé qu'aux gestes d'urgences simples et le traitement efficace de pathologies comme la pulpite est actuellement impossible lors de vols spatiaux habités. Il sera donc important de pouvoir déceler toute pathologie dentaire rapidement afin de pouvoir la traiter avec des méthodes simples et peu invasives.

En vue d'éviter d'alourdir excessivement la formation des CMO tout en améliorant la gestion de la santé orale des équipages, il serait intéressant d'utiliser la télémédecine bucco-dentaire. Ainsi, des professionnels de santé sur Terre pourraient effectuer ces consultations.

A notre connaissance il n'y a pas actuellement de téléconsultations dentaires de routine prévues pour les spationautes en mission, cependant certains protocoles utilisés lors de projets sur terre pourraient potentiellement être adaptés à l'utilisation dans l'espace, à condition de se plier aux contraintes d'une mission interplanétaire.

A) Les contraintes d'une mission interplanétaire pour les techniques de télémédecine bucco-dentaire

La communication

Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, les technologies de l'information et de la communication sont fondamentalement liées à la télémédecine bucco-dentaire, cependant les limites actuelles de ces technologies risquent de poser problème pour une mission vers Mars.

- Latence des communications : Un signal radio prend de 4 à 24 minutes en aller simple entre la Terre et Mars. Parfois les spationautes auront besoin d'attendre 48 minutes pour obtenir une réponse de la Terre !(99)
- Soucis de débit : Du fait de la distance entre les deux planètes, le débit d'informations est diminué. (100) Lorsque le rover Curiosity, lancé fin 2011, transmet directement à la Terre, le débit de données est entre 500 à 32,000 bits/seconde.(101) En passant par un satellite artificiel en orbite autour de Mars tel que le « Mars Reconnaissance Orbiter », le débit de données peut osciller entre 0.5 et 2 Mégabits/seconde.(102) A titre indicatif le débit nécessaire pour une famille de 4 personnes sur Terre peut être estimé à 19 Mégabits/seconde.(103)

Lors d'un projet de télémédecine bucco-dentaire en temps réel utilisant la caméra Soprolife d'Actéon, le débit de données minimum était de 3 Mégabits/seconde pour avoir une vidéo exploitable. Le débit idéal était de 5 Mégabites/seconde.(96)

- Périodes sans possibilité de transferts de données : Le « Mars Reconnaissance orbiter » passe 1/3 de son temps du côté opposé de Mars et ne peut donc pas transmettre d'information à la Terre pendant cette période. Mais il y a déjà 3 autres satellites en orbite autour de Mars qui peuvent permettre une communication ininterrompue s'ils sont positionnés correctement.(104)

Cependant, lorsque la Terre et Mars sont du côté opposé du Soleil, les communications peuvent être perturbées, voire même complètement coupées. A moins de trouver une solution, les futurs équipages risquent de passer des périodes de plusieurs semaines sans pouvoir communiquer avec la Terre.(105)

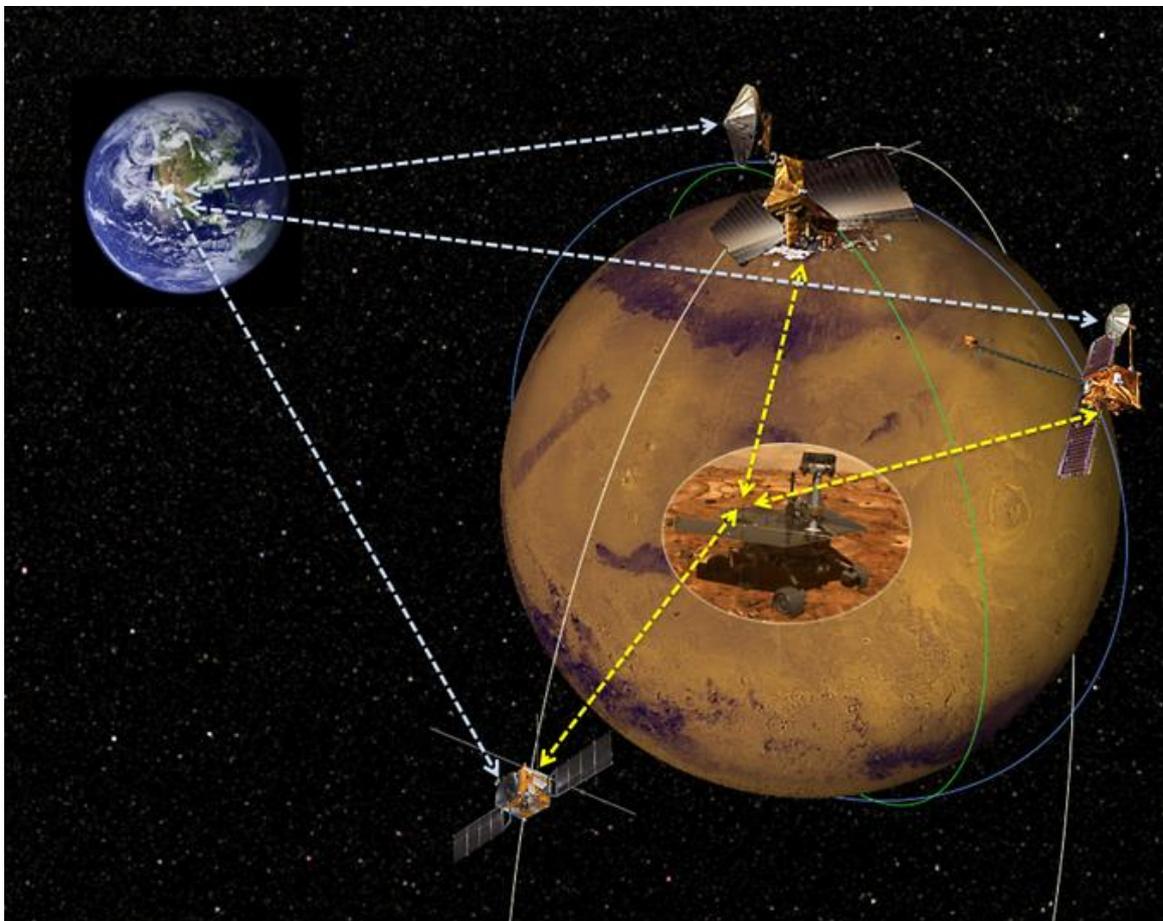


Figure 21 : La communication avec Mars

Image issue du site internet [« nasaspaceflight.com »](http://nasaspaceflight.com) (104)

Du fait de ces contraintes il n'y a donc pas de possibilité de télémédecine « en temps réel » (quasi-temps réel au mieux).

La formation des CMO

L'équipage aura besoin d'une formation très poussée dans divers domaines pour une mission vers Mars. La formation médicale des CMO est déjà conséquente, durant entre 40 et 80 heures selon les sources, et devra certainement être encore plus détaillée afin de permettre plus d'autonomie à l'équipage aux vues des difficultés de communication et de l'impossibilité d'évacuation.(8)

Afin d'éviter de surcharger la formation et sachant que les CMO ne sont souvent pas des professionnels de santé, il faudra privilégier des procédures simples, avec aussi peu de risques iatrogènes que possible.

Les oublis sont aussi un risque non négligeable ; lors d'une mission durant plusieurs années, les habiletés acquises par les CMO lors de leur formation initiale vont progressivement diminuer. Il faudra donc, non seulement simplifier les gestes autant que possible et privilégier l'essentiel, mais aussi développer des contre-mesures à ces pertes d'habiletés. L'utilisation des techniques de télésanté pour permettre une formation continue des spationautes, comme déjà mise en place sur l'ISS, résout partiellement cette problématique.(106)

Le matériel disponible

Afin d'améliorer les capacités de la télémédecine bucco-dentaire utilisée en vol ainsi que les possibilités thérapeutiques des CMO, il sera nécessaire d'intégrer davantage de matériel médical lors des vols interplanétaires. Il y a cependant plusieurs contraintes quant au choix du matériel, entre autres :

- La certification pour le vol : Il faut que le matériel en question soit certifié pour fonctionner correctement en microgravité et ne pas poser de risques pour l'équipage. La NASA utilise le « Technology Readiness Level » (TRL) pour évaluer le degré de maturité des technologies développées pour une utilisation en mission spatiale ;
- Le poids : Le prix de lancement d'un kilogramme en orbite basse est actuellement de 20,000\$/kg ! Il faudra privilégier les objets légers ou les modifier pour réduire leur poids(84) ;

- La taille : Il y a peu de place pour le stockage des matériaux actuellement sur l'ISS et le problème sera en toute vraisemblance similaire lors d'une mission vers Mars ;
- L'utilisation des ressources : Les ressources sont limitées en mission spatiale. Une consommation excessive d'eau ou d'électricité pourrait s'avérer problématique ;
- La conservation du matériel médical : Exposé au rayonnement cosmique ainsi que potentiellement à l'humidité, il serait nécessaire d'emballer le matériel et les médicaments de façon adaptée afin de prolonger leur durée d'utilisation.(107)

La décontamination et stérilisation du matériel

Afin de réduire la quantité de matériel médical pris lors d'un vol interplanétaire il faudrait inclure un moyen de décontamination et de stérilisation. La stérilisation peut être obtenue de plusieurs façons, cependant la stérilisation à chaleur sèche est la seule méthode actuellement privilégiée par la NASA en microgravité.(108)(109)

B) La consultation

Comme nous l'avons vu auparavant, les spationautes ont un risque potentiellement accru pour plusieurs pathologies dentaires. Des consultations régulières augmenteraient nettement les chances de déceler une pathologie à un stade débutant. Selon des recommandations de la méthodologie CAMBRA (CAries Management By Risk Assesment) et en présumant que les spationautes sont à risque carieux modéré (pour les raisons évoquées dans le chapitre I.), il faudrait effectuer des consultations au moins tous les 4 à 6 mois afin de pouvoir déceler les lésions carieuses débutantes.(110) La fréquence recommandée des examens en parodontologie dépend des facteurs de risque.(32)

Un examen dentaire est possible en microgravité, mené par un CMO, comme ce fut le cas lors des missions Skylab. Cependant de meilleurs résultats seraient probablement obtenus si des praticiens spécialistes pouvaient effectuer ces consultations. C'est là qu'interviennent les techniques de télémédecine bucco-dentaire.

Afin de transmettre les informations cliniques du patient à l'équipe médicale de vol, plusieurs méthodes peuvent être envisagées :

Un rapport oral ou écrit du CMO

Le CMO peut décrire à l'équipe médicale sur Terre ce qu'il constate lors de son interrogatoire et examen clinique extra et intra-orale. En plus de l'examen visuel, il peut sonder, palper, percuter et réaliser des tests au froid (grâce à un applicateur en coton humidifié et congelé).(8) Lors de l'utilisation des techniques de télémédecine en quasi-temps réel il serait possible que l'équipe au sol guide l'examen du CMO.

Il est peu probable que le CMO ait une formation poussée en médecine bucco-dentaire, il y a donc de fortes chances que des informations importantes puissent être manquées en utilisant seulement cette méthode.

La photographie

L'utilisation de la photographie peut être intéressante pour transmettre des données cliniques à l'équipe au sol. La photographie a plusieurs intérêts, notamment permettre d'avoir une vue d'ensemble et d'agrandir les détails. Elle peut être utilisée pour diagnostiquer toute pathologie perceptible en vision directe, comme les caries des sites 1 et 3 de la classification SISTA, des fissures/fractures coronaires ainsi que la présence de plaque et de tartre et l'inflammation gingivale.

L'utilisation de la photographie figure déjà dans les protocoles de soins de l'ISS. Cependant, la pratique de la photographie dentaire de bonne qualité n'est pas toujours chose aisée, surtout pour les dents postérieures.

Il existe plusieurs techniques pour réaliser des photographies des arcades dentaires :

L'approche habituelle consiste à utiliser un appareil photo reflex avec un objectif macro et un flash adapté. Il faudrait aussi idéalement des écarteurs photo transparents ou de couleur neutre ainsi que des miroirs.(111) Cette approche n'est pas toujours facile et demanderait une formation supplémentaire du CMO.

Il existe aussi des appareils photos intra-oraux. A notre avis, leur utilisation serait plus simple que la photographie par appareil photo reflex et demanderait moins de temps de formation aux CMO.

Ces techniques de photographie ont chacune leurs avantages et inconvénients et certains protocoles de télémédecine bucco-dentaire proposent de combiner les deux méthodes.(112)

Un système d'imagerie dentaire permettant d'acquérir photos et vidéos de la cavité orale a été développé (TRL 6) en vue de missions de longue durée. Il n'est toutefois pas précisé s'il s'agit d'une caméra intra-orale.(113)

Il y a de fortes chances qu'un appareil photo et flash exploitables fassent partie du matériel emporté lors d'une mission interplanétaire du fait de leur versatilité. La photographie dentaire sera donc certainement un outil précieux pour les CMO et les médecins sur Terre si des téléconsultations dentaires sont mises en place.

Bien que des photographies extra et intra orales de qualité, associées au rapport de l'examen du CMO, soient suffisantes pour émettre des hypothèses de diagnostic précises pour une grande partie des pathologies dentaires, il reste le problème des pathologies qui ne sont pas détectables en vision directe : Caries interproximales, pertes osseuses d'une parodontopathie, complications d'une pathologie pulpaire...

La radiographie

Lors des missions spatiales actuelles sur l'ISS les médecins de vol disposent de l'orthopantomogramme réalisé systématiquement en pré-vol ainsi que les radiographies intrabuccales (rétro-alvéolaires et bitewings). Ces radios sont aussi disponibles à bord de l'ISS.

Bien que cela soit efficace pour toute mission de courte durée, au-delà de 18 mois ces radiographies ne reflèteront potentiellement plus l'état buccal actuel du patient afin de pouvoir établir un diagnostic précis.(110) De plus, en cas de traumatisme impliquant les dents, il est important de pouvoir réaliser de nouvelles radiographies.

Les bitewings sont des radiographies utiles pour le dépistage précoce de caries interproximales dans les secteurs postérieurs, habituellement difficilement visibles en vision directe.(114)

Les rétro-alvéolaires peuvent être utilisées pour diagnostiquer des complications endodontiques éventuelles d'une lésion carieuse ou traumatisme ainsi qu'une atteinte parodontale.

Avec l'utilisation d'angulateurs, de capteurs numériques ainsi que des protocoles précis, la réalisation de radiographies dentaires est relativement simple et les CMO seront certainement capables d'en réaliser sans formation excessive. Les radiographies numérisées pourraient ensuite facilement être transmises à l'équipe médicale terrestre pour interprétation.

L'ISS n'est actuellement pas équipée d'un appareil de radiographie ; Il a été imaginé d'équiper la station spatiale d'un appareil radiographique mais le projet fut abandonné du fait de la consommation électrique et du poids.(84)

Il existe des appareils radios mobiles comme le « NOMAD », utilisé dans certains protocoles de télé-médecine bucco-dentaire. Il est possible qu'un appareil radiologique adapté aux radiographies dentaires et d'un capteur radiologique numérique puissent faire partie du matériel à bord des missions vers Mars.(115)

Il est aussi envisageable d'exploiter les propriétés de dispersion lumineuse et de fluorescence des lésions carieuses afin d'en détecter la présence à un stade précoce : un laser à fluorescence ou une lumière pour la trans-illumination montés avec une caméra intrabuccale permettrait de transmettre les informations à l'équipe au sol pour interprétation sans exposer les patients à une irradiation.

La trans-illumination :

C'est un examen intéressant pouvant apporter des informations précieuses sur la présence de caries interproximales aussi bien des secteurs antérieurs et postérieurs.

Bien que n'apportant pas autant d'informations que la radiographie, des études montrent qu'elle serait plus fiable qu'une radiographie bitewing pour la détection des caries interproximales.(116) Un système de trans-illumination monté avec une caméra intra-orale permettrait de faciliter l'examen et de transférer les données à l'équipe médicale au sol. Le système Carivu est un bon exemple.(117)

La fluorescence :

Comme la trans-illumination, la fluorescence permet de détecter les lésions carieuses interproximales.(118) Elle est aussi très utile pour détecter les caries occlusales. Le système Soprocure, utilisé dans le projet e-DENT, en est un bon exemple.(119)

L'utilisation de bitewings et/ou de caméras intraorales liées à des systèmes de trans-illumination ou de fluorescence est nécessaire pour diagnostiquer efficacement des lésions carieuses interproximales. L'examen visuel reste cependant beaucoup plus performant pour dépister les caries occlusales et la trans-illumination et la fluorescence ne devraient être utilisées que pour confirmer le diagnostic dans ce type de cas afin de diminuer le risque de faux-positifs.(120)(121)

L'utilisation de radiographies, ou des techniques de fluorescence et de trans-illumination pourrait être intéressante cependant il faudrait non seulement une formation supplémentaire des CMO mais aussi certifier le matériel nécessaire pour le vol et l'intégrer dans les kits de soins.

Il faut noter que l'intérêt des caméras intra-orales à fluorescence et à trans-illumination en téléMBD est remis en question. En effet, malgré de bons résultats dans les mains d'un chirurgien-dentiste de formation, il est de l'avis de certains auteurs que leur valeur diagnostique n'est pas nettement supérieure à celle de l'examen de photographies intrabuccales traditionnelles lors de leur utilisation en téléMBD.(96)

Selon un rapport publié par le Dr Anil MENON de la NASA, il semblerait probable qu'un appareil radiographique portable soit inclus lors des missions interplanétaires et que les techniques de fluorescence et de trans-illumination soient réservées aux examens pré-vol.(115)

C) Le diagnostic, et après ?

Une fois le diagnostic établi, des soins peuvent s'avérer nécessaires. C'est ici que la télé-médecine bucco-dentaire spatiale devra diverger de la démarche habituelle sur Terre. Comme vu précédemment, en cas de découverte d'une pathologie, après conseils/prescription si nécessaire, le patient est généralement adressé vers un praticien pouvant le soigner dans des conditions optimales. Cela n'est bien entendu pas possible lors d'une mission spatiale d'exploration !

Comme nous l'avons vu plus tôt, la téléMBD interventionnelle en temps réel n'est pas non plus une option avec les TIC actuelles. Il faudra donc se reposer sur les capacités de soin des CMO, qui ont été formés à certains gestes dentaires simples comme vu dans la partie II.

Il apparaît cependant que cet arsenal thérapeutique, bien qu'adapté pour des missions de courte durée où « temporisation » est le mot d'ordre, ne soit pas suffisant pour des missions de longue durée, pouvant durer plusieurs années. Bien que l'équipe médicale de vol puisse guider le CMO lors des soins (lecture de radio avant extraction, indication ou non de resceller une couronne, bénéfice/risque etc.), il sera nécessaire d'inclure plus de matériaux dans le kit dentaire ainsi que de former d'avantage les CMO afin de permettre des soins dentaires appropriés aux missions de longue durée.

La carie dentaire

Dans une approche globale de la maladie carieuse, l'équipe au sol pourrait donner certaines consignes au patient afin de traiter la pathologie. Des consignes d'hygiène bucco-dentaires plus strictes, la mise en place de moyens prophylactiques ainsi qu'une optimisation des consommations alimentaires pourraient être envisagées par exemple.

Pour les lésions carieuses, il est de mon avis que l'éviction carieuse et la restauration de la dent ne peuvent pas être abordées de la même façon que dans un cabinet dentaire. En effet, même si le matériel nécessaire était présent à bord, la manipulation du contre-angle, la gestion de la dentine cariée/non cariée, les complications éventuelles d'une éviction (effraction pulpaire par exemple) ainsi que la mise en œuvre des matériaux de restauration traditionnels ne peuvent s'apprendre en quelques heures de formation.

L'utilisation de vernis de reminéralisation, si inclus dans le kit dentaire, serait un moyen intéressant de traiter des lésions carieuses précoces (stade 0). Pour les caries d'un stade plus avancé, des produits tels que le « Silver Diamine Fluoride » (SDF) ou « fluorure diamine d'argent » pourraient être utiles puisque, tout comme le vernis fluoré, leur mise en œuvre est simple et il semblerait qu'il y ait peu de risques iatrogènes hormis la coloration dentaire qui n'est d'ailleurs pas systématique.(122) Des tests en micro-gravité seraient nécessaires pour étudier le bénéfice de ce type de produits.

La technique « ART » (Atraumatic Restorative Treatment) a été évoquée pour traiter les lésions cavitaires en mission spatiale.(71) L'approche ART consiste à éliminer le tissu carieux périphérique sans anesthésie et en utilisant seulement un excavateur. La cavité est ensuite obturée.(123) Il est cependant possible qu'il y ait des barodontalgies secondaires avec cette approche.

Il est envisagé d'inclure un matériau d'obturation à durée intermédiaire (suffisant pour couvrir les 3 ans d'une mission interplanétaire), relarguant du fluor, facile à mettre en œuvre et ne nécessitant pas d'équipement spécialisé pour la préparation ou la prise. Le Navy des Etats-Unis est actuellement en train de mettre au point un matériau répondant à ce cahier des charges. Un CVI pourrait aussi être envisagé mais il faudrait élaborer un emballage adéquat pour sa préparation.(107) Lors de l'utilisation de ces matériaux il faudrait que le CMO prenne des précautions suffisantes pour ne pas risquer d'avoir un geste iatrogène, surtout pour l'obturation des caries interproximales. (Figure 22)

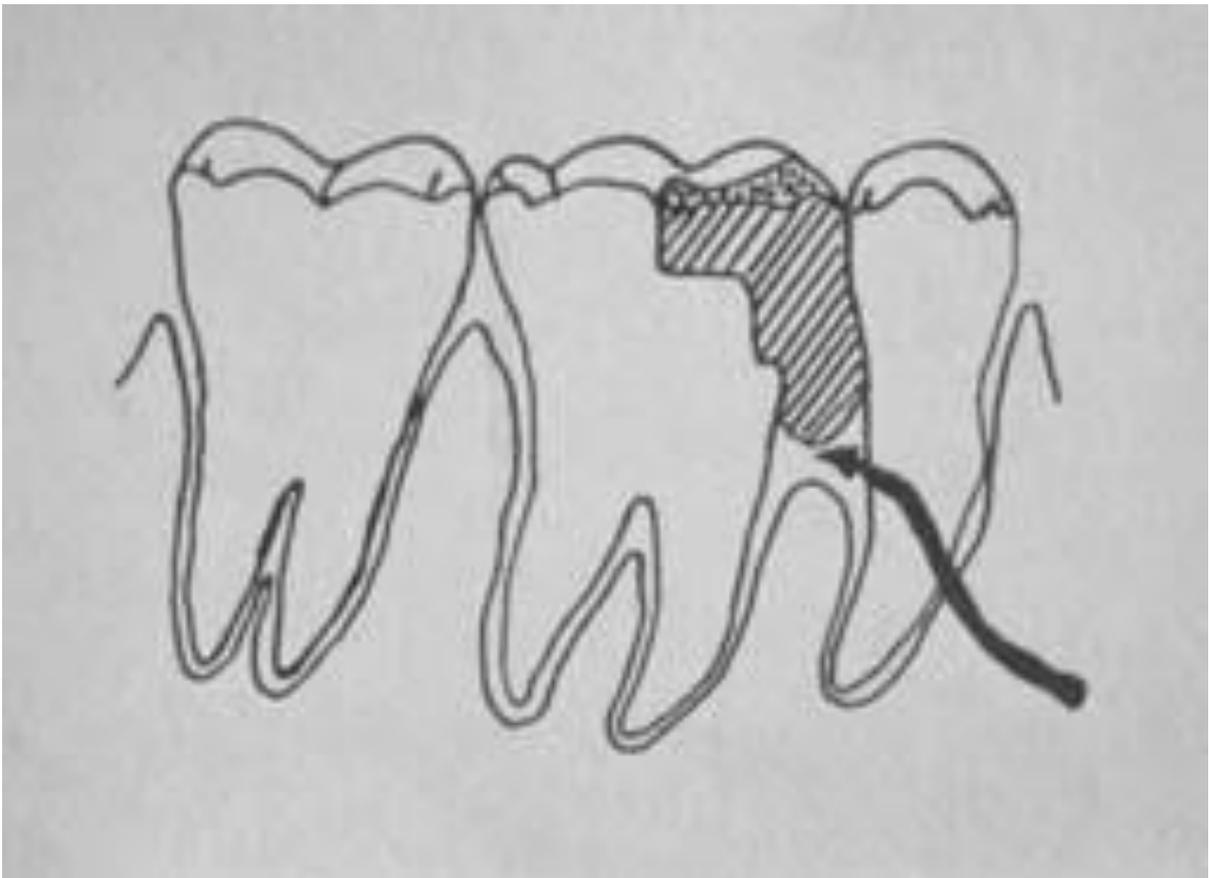


Figure 22 : L'obturation débordante

Image tirée du site internet « lecourrierdudentiste.com »

Lors de l'utilisation d'un CVI, il est fortement probable qu'il y ait une interférence occlusale. Il faudrait donc inclure une pièce à main électrique et des fraises en plus du papier marqueur déjà présent dans l'équipement afin de pouvoir retoucher l'obturation. Cette procédure pourrait être guidée par téléMBD à l'aide d'une caméra intrabuccale ou de photographies.(7)

Pour résumer, grâce à la téléMBD, l'équipe médicale de vol pourrait avoir plusieurs rôles lors du traitement des lésions carieuses :

- Conseils d'hygiène bucco-dentaire et alimentaires pour diminuer les chances de développer de nouvelles lésions carieuses ;
- Diagnostic de la carie ;
- Choix du traitement approprié ;
- Contrôle du traitement réalisé par le CMO.

La santé parodontale

La base de tout traitement ou maintenance parodontale relève de l'éducation et de la motivation du patient à l'utilisation des techniques d'hygiène bucco-dentaire (HBD).(32) Les spationautes sont déjà très sensibilisés à l'importance de l'HBD comme vu précédemment mais il est possible qu'un certain relâchement soit constaté du fait de la durée de la mission et de la charge de travail importante.

De plus il faudrait inclure un kit d'hygiène bucco-dentaire assez conséquent pour une mission de 3 ans si l'on doit compter sur un changement de brosses à dents tous les 3 mois, de brossettes interdentaires toutes les semaines ainsi qu'une quantité de dentifrice et de fil dentaire adaptée.

Le tartre se forme à partir de la plaque dentaire lors de son exposition à la salive.(35) De ce fait, avec un protocole d'hygiène bucco-dentaire parfait, biquotidien, il n'y aura théoriquement pas de formation de tartre. Cependant ce brossage « parfait » n'est qu'un objectif théorique et difficilement réalisable.

Comme nous l'avons vu précédemment, il y a une formation de tartre plus importante en microgravité que sur Terre, il y aura donc sans doute besoin de réaliser des détartrages lors d'une mission interplanétaire afin d'éviter l'accumulation de tartre qui favoriserait une atteinte parodontale ou dentaire. Il est envisagé d'inclure le matériel nécessaire pour un détartrage biannuel lors des missions interplanétaires.(107)

Bien qu'il existe d'autres méthodes comme les instruments rotatifs et les lasers, les deux outils de détartrage les plus fréquemment utilisés sont les curettes et les ultrasons :

- L'utilisation de curettes manuelles

Cela aurait l'avantage de ne pas consommer d'eau ou d'électricité et, n'ayant pas de

composants électroniques, serait relativement simple à ajouter au kit de soins dentaires.

Les désavantages sont cependant la prise en main relativement compliquée, le temps nécessaire pour réaliser un détartrage correct ainsi que les risques de blessures du patient ou du soignant.

- L'utilisation d'une pièce à main ultrasonore

Avec ce type d'instrument, accompagné de consignes et réglages clairs et simples, il est difficile d'avoir un geste iatrogène. Le soin est réalisé beaucoup plus rapidement et à notre avis la prise en main est plus simple. Plusieurs problèmes se posent cependant avec l'utilisation d'ultrasons : le composant électronique (il serait nécessaire de vérifier son fonctionnement en microgravité), la consommation d'eau et d'électricité, la production d'un aérosol et la nécessité d'ajouter un système d'aspiration. Un système d'aspiration utilisable pour les soins dentaires durant les missions spatiales de longue durée est actuellement en cours de développement.(123)

Un des risques en commun pour ces deux méthodes est de décrocher une obturation ou une couronne dentaire.

Les « flight surgeons » pourraient s'aider de la téléMBD pour faciliter la prise en charge parodontale de plusieurs façons :

- Le diagnostic ;
- La motivation à l'hygiène bucco-dentaire ;
- La prescription de dentifrices, bains de bouche et/ou antibiotiques ;
- L'indication et le contrôle des détartrages.

Autres soins dentaires

La téléMBD pourrait aussi jouer un rôle dans d'autres domaines de l'odontologie spatiale : traumatologie, gestion des prothèses, médecine buccale etc.

La présence d'imprimantes 3D plastique (comme déjà présentes sur l'ISS) ou métal (en cours de développement pour l'ISS) lors des missions interplanétaires pourrait permettre l'utilisation de protocoles de soins plus complets.(124) Il faudrait y associer une caméra 3D intraorale afin de pouvoir exploiter ces machines pour des soins dentaires.

Une équipe pluridisciplinaire européenne est en train de mettre au point des protocoles dentaires pour de futures missions interplanétaires exploitant la technologie 3D. Elle a déjà simulé avec succès le déroulement des opérations dans des conditions « martiennes » lors de la mission « AMADEE-15 ». Le protocole étudié fut celui du « remplacement d'une restauration dentaire (obturation dentaire, inlay, onlay ou couronne) ».

Les étapes de leur protocole furent les suivantes :

- Faire l'état de la situation et d'une éventuelle symptomatologie ;
- Réalisation d'un scan intraoral et associer d'autres examens complémentaires si nécessaire ;
- Transmission du scan 3D à l'équipe médicale sur Terre afin d'avoir un diagnostic. Un laboratoire dentaire conçoit la restauration et un guide d'insertion à partir de ces informations ;
- Transmission des données 3D de la restauration et du guide d'insertion à l'équipe martienne ;
- Usinage ou impression 3D des pièces de laboratoire sur Mars ;
- Insertion et fixation de la prothèse grâce au guide et un ciment ou colle ;
- Vérification de l'assise, l'occlusion et d'éventuels excès de ciment réalisé par un autre membre de l'équipage ;
- Nouveau scan intraoral pour documenter le cas.

Nous pouvons imaginer d'autres applications de la technologie 3D comme la fabrication de gouttières, de plans de libération occlusale, de guides pour les anesthésies, de contentions poste traumatiques etc.

Bien que ce protocole ait été une réussite lorsqu'il fut testé dans des conditions martiennes simulées (Mission Amadee-15) il faudra l'évaluer en conditions de microgravité afin de confirmer sa faisabilité.

Les auteurs ont aussi signalé la nécessité de formation supplémentaire des CMO ainsi que de matériel additionnel.(125)

Conclusion

La problématique des soins dentaires lors d'une mission interplanétaire est complexe. Comme nous l'avons vu, l'approche actuelle des agences spatiales se base sur la prévention. Il semblerait que développer cette facette de l'odontologie spatiale autant que possible soit la meilleure façon d'assurer la santé orale des équipages. Cependant, malgré toutes les précautions possibles et envisageables, le risque d'événement dentaire persistera.

La télémedecine bucco-dentaire sera une facette indispensable à l'odontologie spatiale puisqu'en plus de guider les gestes et les traitements des CMO, il pourra apporter une meilleure qualité des contrôles buccodentaires sans encombrer la formation des CMO.

Il est actuellement attendu que les premiers vols habités vers Mars aient lieu dans les années 2030. En attendant, il y aura certainement un bon nombre de missions en orbite terrestre basse et vers la lune qui permettront de tester les systèmes médicaux avant une mission interplanétaire.(126)

La téléMBD présente toutefois des limites ; les technologies actuelles ne permettent pas une téléMBD interventionnelle en temps réel. Les gestes dentaires complexes resteront donc impossibles durant les vols spatiaux, à moins qu'un chirurgien-dentiste fasse partie de l'équipage.

Etant donné qu'il est peu probable qu'il y ait un chirurgien-dentiste spationaute lors des premières missions à destination de Mars, il sera nécessaire de développer la sélection, le dépistage et la prévention pré et per-vol ainsi que d'augmenter les capacités de soins dentaires des CMO.(127)

Les recherches en télémedecine bucco-dentaire spatiale entraîneront certainement une avancée majeure dans les applications terrestres de cette spécialité, comme ce fut le cas pour la télémedecine.

Dans l'avenir, avec l'avancée des TIC, de la technologie 3D et la robotisation des instruments dentaires nous pourrions imaginer des applications plus larges de la télémedecine buccodentaire. Il ne faudra cependant pas perdre de vue le rôle principal de l'odontologie spatiale, et donc de la téléMBD spatiale, qui est de solutionner tout évènement dentaire et de permettre aux spationautes de retrouver une capacité de fonctionnement optimale aussi rapidement que possible.(97)(8)

Vu, le directeur de thèse,



Olivier Hamel

Annexes**Annexe 1 : Procédures dentaires pour l'ISS (77)****2.6.101 MOUTH EXAM**

(MED CL/E44 - ALL/FIN 4/T)

Page 1 of 1 page

OBJECTIVE:

To perform an examination of the mouth and teeth.

TOOLS:

Digital Camera

SSC

1. PERFORMING EXAM

Inspect mouth and photo document [Digital Camera].

To view anatomic reference images of the mouth and teeth, refer to [Mouth Anatomy](#).

SSC

Downlink photos for Surgeon.

If required, refer to [1.480 D4 SETUP - MEDICAL IMAGERY](#), all (SODF: ISS PTV: NIKON D4).

25 JUN 15

2.6.101_M_22891.xml

2.6.302 DENTAL PROCEDURE - TEMPORARY DENTAL FILLING
(MED CL/E44 - ALL/FIN 4/T) Page 1 of 2 pages

OBJECTIVE:

To repair dental filling.

ITEMS:

Medical Supply Pack:

Nitrile Gloves (select appropriate size)
Gauze 4"x4"

Topical & Injectable Medication Pack:

Temporary Tooth Filling

Minor Treatment Pack:

Dental Tools Kit

TOOLS:

Digital Camera

SSC

1. PHOTO DOCUMENTING DENTAL FILLING

Photo document tooth and displaced dental filling [Digital Camera].

To view anatomic reference images of the mouth and teeth, refer to [Mouth Anatomy](#).

If required, refer to [1.480 D4 SETUP - MEDICAL IMAGERY](#), all (SODF: ISS PTV: NIKON D4).

2. REPLACING DENTAL FILLING

2.1 Don Nitrile Gloves (select appropriate size).

Inspect tooth for debris and remove any debris found.

Have subject brush teeth to assist in any debris removal.

2.2 Puncture end of Temporary Tooth Filling.

Squeeze Temporary Tooth Filling material onto finger.

Roll material into a ball.

2.3 Place Temporary Tooth Filling into the tooth cavity and gently form to tooth.

Wipe off excess with Gauze 4"x4".

Have subject firmly bite down on Temporary Tooth Filling for 2 minutes, allowing the Temporary Tooth Filling to form to the surfaces of the tooth and to harden.

Adjust filling by removing and smoothing excess filling using Gauze 4"x4" and Dental Carver File (G).

Filling will achieve initial set in 5 minutes.

Subject may resume drinking in approximately 1 hour.

Limit solid or hard food consumption on the affected side of the mouth for first 12 to 24 hours as filling hardens.

NOTE

It is important to keep individuals' data separate by making separate folders that are labeled with crewname and GMT day.

2.6.302 DENTAL PROCEDURE - TEMPORARY DENTAL FILLING
(MED CL/E44 - ALL/FIN 4/T) Page 2 of 2 pages

3. PHOTO DOCUMENTING REPAIR

3.1 Photo document tooth and repaired filling [Digital Camera].
To view anatomic reference images of the mouth and teeth, refer to [Mouth Anatomy](#).

SSC

3.2 Downlink photos for Surgeon.
If required, refer to [1.480 D4 SETUP - MEDICAL IMAGERY](#), all (SODF:
ISS PTV: NIKON D4).

30 JUN 15

2.6.302_M_22896.xml

2.6.304 DENTAL PROCEDURE - EXPOSED DENTAL PULP
(MED CL/E44 - ALL/FIN 5/T) Page 1 of 2 pages

OBJECTIVE:

To treat a fractured tooth showing exposed pulp.

ITEMS:

Ziplock Bag, 12"x12" for trash

Convenience Medication Pack (White):

Ibuprofen (Motrin)

Medical Supply Pack (Green):

Gauze 4"x4"

Nitrile Gloves (select appropriate size)

Oral Medication Pack (Purple):

Hydrocodone and Acetaminophen (Vicodin HP)

Topical & Injectable Medication Pack (Brown):

Eugenol

TOOLS:

Digital Camera

SSC

1. PHOTO DOCUMENTING BROKEN TOOTH

- 1.1 Photo document tooth and broken fragment [Digital Camera].
To view anatomic reference images of the mouth and teeth, refer to [Mouth Anatomy](#).

SSC

- 1.2 Downlink photos for Surgeon.
If required, refer to [1.480 D4 SETUP - MEDICAL IMAGERY](#), all (SODF: ISS PTV: NIKON D4).

2. Take two (2) tablets Ibuprofen (Motrin) (400mg per tablet) [Convenience Medication Pack (White)] and one (1) tablet Hydrocodone and Acetaminophen (Vicodin HP) (10mg/300mg per tablet) [Oral Medication Pack (Purple)] for pain control.
If required, refer to [2.0.402 TREATING PAIN](#), all (SODF: MED CL: EXAMS, PROCEDURES, AND TREATMENT).
Consult with Surgeon on type of block to place.
Perform [2.6.301 DENTAL PROCEDURE - NERVE BLOCK](#), all (SODF: MED CL: EXAMS, PROCEDURES, AND TREATMENT), then:

3. TREATING WITH EUGENOL

WARNING

Minimize contact between the Eugenol and skin or gums to prevent tissue damage.

- 3.1 Don Nitrile Gloves.
Moisten a small portion of a Gauze 4"x4" with Eugenol [Topical & Injectable Medication Pack (Brown)].

2.6.304 DENTAL PROCEDURE - EXPOSED DENTAL PULP
(MED CL/E44 - ALL/FIN 5/T) Page 2 of 2 pages

Squeeze excess Eugenol out of Gauze 4"x4" onto a second piece of Gauze 4"x4" or a Dry Wipe.

- 3.2 Place moistened portion of Gauze 4"x4" over exposed pulp. Have patient hold gauze with teeth for 1 to 2 minutes.
- 3.3 Additional placement of Eugenol should not require additional local anesthesia.
4. Avoid chewing on affected side and keep food out of cavity.

2.6.305 DENTAL PROCEDURE - LOSS OF TOOTH
(MED CL/E44 - ALL/FIN 5/T) Page 1 of 1 page

OBJECTIVE:

To stop bleeding and control pain.

ITEMS:

Convenience Medication Pack (White):

Ibuprofen (Motrin)

Medical Supply Pack (Green):

Gauze 4"x4"

Oral Medication Pack (Purple):

Hydrocodone and Acetaminophen (Vicodin HP)

TOOLS:

Digital Camera

SSC

1. CONTROLLING BLEEDING

Apply direct pressure to the tooth socket with Gauze 4"x4".
Hold continuous pressure until bleeding stops.

2. TREATING PAIN

Take two (2) tablets Ibuprofen (Motrin) (400 mg per tablet) [Convenience Medication Pack (White)] and one (1) tablet Hydrocodone and Acetaminophen (Vicodin HP) (10 mg/300 mg per tablet) [Oral Medication Pack (Purple)] for pain control.

If required, refer to 2.0.402 TREATING PAIN, all (SODF: MED CL: EXAMS, PROCEDURES, AND TREATMENT).

If pain severe or immediate relief required

Perform 2.6.301 DENTAL PROCEDURE - NERVE BLOCK, all (SODF: MED CL: EXAMS, PROCEDURES, AND TREATMENT), then:

3. Place tooth in Ziplock Bag and temporarily stow.

4. PHOTO DOCUMENTING BROKEN TOOTH

4.1 Photo document tooth and mouth [Digital Camera].

To view anatomic reference images of the mouth and teeth, refer to Mouth Anatomy.

SSC

4.2 Downlink photos for Surgeon.

If required, refer to 1.480 D4 SETUP - MEDICAL IMAGERY, all (SODF: ISS PTV: NIKON D4).

5. Discard Ziplock Bag.

30 JUN 15

2.6.305_M_23054.xml

Bibliographie

1. Stephen Hawking has a chilling message about the survival of humanity [Internet]. The Independent. 2017 [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-colonise-other-planets-ensure-human-survival-a7746016.html>
2. NASA Crewed Mission To Venus Would Pave Way For Human Mission To Mars [Internet]. [cité 25 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.forbes.com/sites/brucedorminey/2017/04/06/nasa-crewed-mission-to-venus-would-pave-way-for-mars/#3b0d516c62ae>
3. NASA Exploration Destinations, Goals, and International Collaboration - Full Report [Internet]. NASA. 2015 [cité 25 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.nasa.gov/directorates/heo/reports.html>
4. spacexcmsadmin. Mars [Internet]. SpaceX. 2016 [cité 25 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.spacex.com/mars>
5. Hohmann transfer orbit diagram [Internet]. [cité 25 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/charts/hohmann-transfer-orbit.html>
6. Mission Feasibility - Mars One [Internet]. Mars One. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.mars-one.com/mission/technical-feasibility>
7. Menon A. Dental Working Group Meeting Summary Report - 1-Menon-A_TM-2012-217367.pdf [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=435>
8. Barratt MR, Pool SL, éditeurs. Principles of Clinical Medicine for Space Flight [Internet]. New York: Springer-Verlag; 2008 [cité 5 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.springer.com/gp/book/9780387988429>
9. Lasfargues J-J, Colon P, Vanherle G, Lambrechts P. Odontologie conservatrice et restauratrice. Rueil-Malmaison: Éditions CdP; 2009. (Collection JPIO).
10. recherche résultats de, Rau G. Prophylaxie et traitement conservateur des caries dentaires. Paris: Flammarion Médecine-Sciences; 1994. 263 p.
11. Lasfargues, al. Odontologie conservatrice et restauratrice: Tome 1: Une approche médicale globale. Rueil-Malmaison France: CDP; 2009. 480 p.
12. Oral Microbiology and Immunology, Second Edition [Internet]. American Society of Microbiology; 2014 [cité 24 janv 2018]. Disponible sur: <http://www.asmscience.org/content/book/10.1128/9781555818906>
13. Rai B, Kaur J, Foing BH. Evaluation by an Aeronautic Dentist on the Adverse Effects of a Six-Week Period of Microgravity on the Oral Cavity [Internet]. International Journal of Dentistry. 2011 [cité 10 déc 2017]. Disponible sur: <https://www.hindawi.com/journals/ijd/2011/548068/>
14. Singh R. Mission Mars: A Dentist's Perspective. J Br Interplanet Soc. 11 avr 2016;68:393-9.

15. Heer M, Titze J, Smith SM, Baecker N. Nutrition in Space. In: Nutrition Physiology and Metabolism in Spaceflight and Analog Studies [Internet]. Springer, Cham; 2015 [cité 24 janv 2018]. p. 3–10. (SpringerBriefs in Space Life Sciences). Disponible sur: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-18521-7_2
16. Colin J, Timbal J. Médecine aérospatiale. 2e édition revue et complétée. Paris: Expansion scientifique française; 1999.
17. Enrico C. Space nutrition: the key role of nutrition in human space flight. ArXiv161000703 Q-Bio [Internet]. 2 oct 2016 [cité 24 janv 2018]; Disponible sur: <http://arxiv.org/abs/1610.00703>
18. Roth EM. Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment. National Aeronautics and Space Administration; 1968. 575 p.
19. Marshall Teresa A., Broffitt Barbara, Eichenberger Gilmore Julie, Warren John J., Cunningham Marsha A., Levy Steven M. The Roles of Meal, Snack, and Daily Total Food and Beverage Exposures on Caries Experience in Young Children. J Public Health Dent. 1 mai 2007;65(3):166–73.
20. Forsythe K. NASA - A Matter of Taste [Internet]. [cité 27 janv 2018]. Disponible sur: https://www.nasa.gov/audience/foreducators/k-4/features/F_A_Matter_of_Taste.html
21. Olabi A a., Lawless H t., Hunter J b., Levitsky D a., Halpern B p. The Effect of Microgravity and Space Flight on the Chemical Senses. J Food Sci. 1 mars 2002;67(2):468–78.
22. kazilek. Frenziered Fluids [Internet]. 2011 [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: <https://askabiologist.asu.edu/frenziered-fluids>
23. Neyraud E. Role of Saliva in Oral Food Perception. 2014;24:61–70.
24. Romanoff J, Romanoff J. When It Comes to Living in Space, It's a Matter of Taste [Internet]. Scientific American. [cité 11 déc 2017]. Disponible sur: <https://www.scientificamerican.com/article/taste-changes-in-space/>
25. Choices NHS. Which foods cause tooth decay? - Health questions - NHS Choices [Internet]. 2018 [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.nhs.uk/ehq/Pages/which-foods-and-drinks-containing-sugar-cause-tooth-decay.aspx?CategoryID=51&SubCategoryID=167>
26. La maladie carieuse [Internet]. UFSBD. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.ufsbd.fr/espace-grand-public/votre-sante-bucco-dentaire/la-maladie-carieuse/>
27. Cheng X, Xu X, Chen J, Zhou X, Cheng L, Li M, et al. Effects of simulated microgravity on Streptococcus mutans physiology and biofilm structure. FEMS Microbiol Lett. 1 oct 2014;359(1):94–101.
28. Orsini SS, Lewis AM, Rice KC. Investigation of simulated microgravity effects on Streptococcus mutans physiology and global gene expression. Npj Microgravity. 12 janv 2017;3(1):4.

29. Keijser BJJ, Zaura E, Huse SM, Vossen JMBM van der, Schuren FHJ, Montijn RC, et al. Pyrosequencing analysis of the Oral Microflora of healthy adults. *J Dent Res.* 1 nov 2008;87(11):1016-20.
30. Rai B, Kaur J. Periodontal status, salivary immunoglobulin, and microbial counts after short exposure to an isolated environment. *J Oral Sci.* 2013;55(2):139-43.
31. Marquis RE. Antimicrobial actions of fluoride for oral bacteria. *Can J Microbiol.* nov 1995;41(11):955-64.
32. Haute Autorité de Santé - Parodontopathies : diagnostic et traitements [Internet]. [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272209/fr/parodontopathies-diagnostic-et-traitements
33. Qu'est-ce qu'une parodontopathie ? | Dentagora [Internet]. [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.dentagora.fr/chirurgie-dentaire/parodontologie/parodontopathie/>
34. Johnston RSD. Biomedical Results from Skylab [Internet]. 1977 janv [cité 8 févr 2018]. Disponible sur: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19770026836>
35. results search, Kalkwarf KL, Brunsvold MA. Plaque and Calculus Removal: Considerations for the Professional. 1 edition. Chicago: Quintessence Pub Co; 1994. 109 p.
36. Charon J. Le diagnostic en parodontie: Guide de l'examen clinique pour un plan de traitement adapté. CDP; 2016. 104 p.
37. Herbert TB, Cohen S. Stress and immunity in humans: a meta-analytic review. *Psychosom Med.* août 1993;55(4):364.
38. esa. Stressed in space [Internet]. European Space Agency. [cité 9 févr 2018]. Disponible sur: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Research/Stressed_in_space
39. Rai B, Kaur J. Periodontal status, salivary immunoglobulin, and microbial counts after short exposure to an isolated environment. *J Oral Sci.* 2013;55(2):139-43.
40. Roberts J. Johnson Space Center Fact Sheets [Internet]. NASA. 2015 [cité 8 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.nasa.gov/centers/johnson/about/factsheets.html>
41. Thankappan P, Kaushik SK, Gupta SK, Mandlik VB. Periodontal diseases in military aviation crew: A pilot study in armed forces. *J Int Clin Dent Res Organ.* 7 janv 2015;7(2):116.
42. Koehrer A, Besançon E. Les barotraumatismes dentaires en milieu hypobare. Lyon, France: Université Claude Bernard Lyon 1; 2014.
43. Lakshmi, Sakthi DS. Aviation Dentistry. *J Clin Diagn Res JCDR.* mars 2014;8(3):288-90.

44. Laval-Meunier F, Bertran P-E, Arrivé E, Paris J-F, Monteil M, Nguyen S, et al. Frequency of Barodontalgia Among Military or Civilian Pilots and Aircrew Members. *Aviat Space Env Med.* 1 oct 2013;84:1055-60.
45. Thirsk R, Kuipers A, Mukai C, Williams D. The space-flight environment: the International Space Station and beyond. *CMAJ Can Med Assoc J.* 9 juin 2009;180(12):1216-20.
46. Young LA. Vertical lift-not just for terrestrial flight. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION MOFFETT FIELD CA AMES RESEARCH CENTER; 2000.
47. Interview: Extracting a tooth should be the last resort in space [Internet]. *Dental Tribune online.* [cité 24 janv 2018]. Disponible sur: <https://am.dental-tribune.com/news/interview-extracting-a-tooth-should-be-the-last-resort-in-space/>
48. Rai B, Kaur J, Catalina M. Bone mineral density, bone mineral content, gingival crevicular fluid (matrix metalloproteinases, cathepsin K, osteocalcin), and salivary and serum osteocalcin levels in human mandible and alveolar bone under conditions of simulated microgravity. *J Oral Sci.* sept 2010;52(3):385-90.
49. Menon A. Review of Spaceflight Dental Emergencies [Internet]. 2012 sept [cité 19 déc 2017]. Disponible sur: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20120002807>
50. Lyons KM, Rodda JC, Hood JAA. The effect of environmental pressure changes during diving on the retentive strength of different luting agents for full cast crowns. *J Prosthet Dent.* 1 nov 1997;78(5):522-7.
51. Themes UFO. 13. Dental Cement [Internet]. *Pocket Dentistry.* 2015 [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: <https://pocketdentistry.com/13-dental-cement/>
52. Shalit BL. DENTAL ASPECTS OF MANNED SPACE EXPEDITIONS. *Ann N Y Acad Sci.* 1 déc 1966;140(1):444-8.
53. Zarb GA, Bolender CL, Eckert SE, Fenton AH, Jacob RF, Mericske-Stern R. *Prosthetic Treatment for Edentulous Patients: Complete Dentures and Implant-Supported Protheses.* 12 edition. St. Louis: Mosby; 2003. 576 p.
54. Suction Cups [Internet]. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: http://abetterchemtext.com/gases/suc_cups.htm
55. Snyder FC, Kimball HD, Bunch WB, Beaton JH. Effect of Reduced Atmospheric Pressure Upon Retention of Dentures**From the Bureau of Medicine Research Division Project No. X-355 (AV-198-h). *J Am Dent Assoc.* 1 avr 1945;32(7):445-50.
56. Canadian Space Agency. Wringing out Water on the ISS - for Science! [Internet]. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=o8TssbmY-GM>
57. DDS AC By Gregory S Jacob. Three-Dimensional Printing of Dentures Using Fused Deposition Modeling | IDT | aegisdentalnetwork.com [Internet]. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.aegisdentalnetwork.com/idt/2013/08/three-dimensional-printing-of-dentures-using-fused-deposition-modeling>

58. Haigneré C, Jonas P, Khayat P, Girot G. Bone height measurements around a dental implant after a 6-month space flight: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. juin 2006;21(3):450-4.
59. Microgravity might affect Peri - implant Mucosal Epithelial cells during space Flight - Semantic Scholar [Internet]. [cité 5 mars 2018]. Disponible sur: /paper/Microgravity-might-affect-Peri---implant-Mucosal-E-Tamura/56f841b91bcd548efdeba632f6d47674e544a25c
60. Lobbezoo F., Ahlberg J., Glaros A. G., Kato T., Koyano K., Lavigne G. J., et al. Bruxism defined and graded: an international consensus. *J Oral Rehabil*. 10 déc 2012;40(1):2-4.
61. Duminil G, Orthlieb J-D, Collectif, Slavicek R. *Le bruxisme tout simplement*. Paris: Editions Espace id; 2015. 336 p.
62. Lurie O, Zadik Y, Einy S, Tarrasch R, Raviv G, Goldstein L. Bruxism in military pilots and non-pilots: Tooth wear and psychological stress. *Aviat Space Environ Med*. 1 mars 2007;78:137-9.
63. W. Royce Hawkins, M.D, John F. Zieglschmid, M.D. SP-368 Biomedical Results of Apollo. CHAPTER 1 CLINICAL ASPECTS OF CREW HEALTH [Internet]. [cité 14 déc 2017]. Disponible sur: <https://history.nasa.gov/SP-368/s2ch1.htm>
64. Mehta SK, Laudenslager ML, Stowe RP, Crucian BE, Feiveson AH, Sams CF, et al. Latent virus reactivation in astronauts on the international space station. *NPJ Microgravity* [Internet]. 12 avr 2017 [cité 11 mars 2018];3. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445581/>
65. Rai B, Kaur J. The history and importance of aeronautic dentistry. *J Oral Sci*. 2011;53(2):143-6.
66. Deutsch WM. Dental events during periods of isolation in the US submarine force. *Mil Med*. 2008;173(suppl_1):29-37.
67. Arrêté du 16 mai 2008 relatif aux critères et conditions de délivrance des attestations d'aptitude médicale de classe 3 nécessaires pour assurer les services du contrôle de la circulation aérienne et à l'organisation des services de médecine aéronautique.
68. ORL et --- Normes Médicales aéronautiques [Internet]. [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.medsyn.fr/perso/g.perrin/aero/normes/orl.htm>
69. esa. Psychological and medical selection process [Internet]. European Space Agency. [cité 14 déc 2017]. Disponible sur: http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/European_Astronaut_Selection/Psychological_and_medical_selection_process
70. Leonardi Dutra K, Haas L, Porporatti AL, Flores-Mir C, Nascimento Santos J, Mezzomo LA, et al. Diagnostic Accuracy of Cone-beam Computed Tomography and Conventional Radiography on Apical Periodontitis: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Endod*. 1 mars 2016;42(3):356-64.

71. Institute of Medicine (US) Committee on Creating a Vision for Space Medicine During Travel Beyond Earth Orbit. Safe Passage: Astronaut Care for Exploration Missions [Internet]. Ball JR, Evans CH, éditeurs. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001 [cité 3 avr 2018]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK223783/>
72. Col. D. Keith Savage, USAFR, DC. 50th Commemorative Anniversary of the United States Air Force Dental Service 1949-1999. The Office of the Assistant Surgeon General for Dental Services United States Air Force; 1999.
73. Seedhouse E. Interplanetary health care. In: Trailblazing Medicine [Internet]. Springer, New York, NY; 2011 [cité 27 déc 2017]. p. 15-37. (Springer Praxis Books). Disponible sur: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-7829-5_2
74. Hitt D, Garriott OK, Kerwin J. Homesteading Space: The Skylab Story. U of Nebraska Press; 2008. 549 p.
75. Dental hardware [Internet]. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <https://lsda.jsc.nasa.gov/Hardware/hardw/1075>
76. March 17 ME on, Medicine 2014 in Space. Evolution of NASA Medical Kits: From Mercury to ISS [Internet]. Space Safety Magazine. 2014 [cité 29 déc 2017]. Disponible sur: <http://www.spacesafetymagazine.com/spaceflight/space-medicine/evolution-medical-kits-mercury-iss/>
77. Rummaging in the Governments attic: Governmentattic.org [Internet]. [cité 22 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.governmentattic.org/>
78. Clinical Pharmacology of Spaceflight [Internet]. Medscape. [cité 21 janv 2018]. Disponible sur: <http://www.medscape.com/viewarticle/735035>
79. HRR - Gap - Pharm01: We do not know how medications are used during spaceflight. [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/Gaps/gap.aspx?i=540>
80. Granath B. Astronauts Recall Skylab Program on 40th Anniversary [Internet]. NASA. 2015 [cité 28 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.nasa.gov/content/astronauts-recall-skylab-program-at-40th-anniversary-celebration>
81. Davis JR, Johnson R, Stepanek J, Fogarty JA. Fundamentals of Aerospace Medicine. Wolters Kluwer Health; 2015. 752 p.
82. NASA Johnson. STEMonstrations: Newton's Third Law of Motion [Internet]. [cité 16 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=dCF--YOjiOw&feature=youtu.be&linkId=49309482>
83. La cinématique et la dynamique Newtonienne - Cours Physique-Chimie - Kartable [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/la-cinematique-et-la-dynamique-newtonienne/22585>
84. Stewart LH, Trunkey D, Rebagliati GS. Emergency medicine in space. J Emerg Med. 1 janv 2007;32(1):45-54.

85. esa. Mars500: Scientific protocols [Internet]. European Space Agency. [cité 24 janv 2018]. Disponible sur:
http://www.esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Mars500/Mars500_Scientific_protocols12
86. Fatehi F, Wootton R. Telemedicine, telehealth or e-health? A bibliometric analysis of the trends in the use of these terms. *J Telemed Telecare*. déc 2012;18(8):460-4.
87. What is Health Informatics? [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur:
<http://www.e-healthstandards.org.au/ABOUTIT014/WhatIsHealthInformatics.aspx>
88. What is Telehealth? | Center for Connected Health Policy [Internet]. [cité 26 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.cchpca.org/what-is-telehealth>
89. Giraudeau N, éditeur. *e-Health Care in Dentistry and Oral Medicine: A Clinician's Guide* [Internet]. Springer International Publishing; 2018 [cité 16 mars 2018]. Disponible sur: [//www.springer.com/gp/book/9783319694498](http://www.springer.com/gp/book/9783319694498)
90. Code de la santé publique - Article L6316-1. Code de la santé publique.
91. Décret n° 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télémédecine. 2010-1229 oct 19, 2010.
92. A Century of Telemedicine: Curatio Sine Distantia et Tempora | Media | ISFTeH - International Society for Telemedicine and eHealth [Internet]. [cité 15 mars 2018]. Disponible sur:
https://www.isfteh.org/media/a_century_of_telemedicine_curatio_sine_distantia_et_tempora_book_free_for_d
93. Zundel KM. Telemedicine: history, applications, and impact on librarianship. *Bull Med Libr Assoc*. janv 1996;84(1):71-9.
94. Teledentistry: A Systematic Review of Clinical Outcomes, Utilization and Costs [Internet]. [cité 15 mars 2018]. Disponible sur:
<http://jdh.adha.org/content/87/6/345.full#ref-1>
95. Rocca MA, Kudryk VL, Pajak JC, Morris T. The evolution of a teledentistry system within the Department of Defense. *Proc AMIA Symp*. 1999;921-4.
96. Kumar S, éditeur. *Teledentistry* [Internet]. Springer International Publishing; 2015 [cité 26 févr 2018]. (Health Informatics). Disponible sur:
[//www.springer.com/gp/book/9783319089720](http://www.springer.com/gp/book/9783319089720)
97. Jampani ND, Nutalapati R, Dontula BSK, Boyapati R. Applications of teledentistry: A literature review and update. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2011;1(2):37-44.
98. Eveleth R. The surgeon who operates from 400km away [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.bbc.com/future/story/20140516-i-operate-on-people-400km-away>
99. Ormston T. Time delay between Mars and Earth [Internet]. *Mars Express*. 2012 [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <http://blogs.esa.int/mex/2012/08/05/time-delay-between-mars-and-earth/>

100. Why does the data transfer rate have to drop with distance? [Internet]. [cité 18 sept 2017]. Disponible sur:
<http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/communications/2-why-does-data-transfer-rate-drop-with-distance.html>
101. NASA J. Data Rates>Returns - Mars Science Laboratory [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur:
<https://mars.nasa.gov/MSL/mission/communicationwithearth/data/>
102. NASA J. Communications with Earth - Mars Reconnaissance Orbiter [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur:
<http://mars.nasa.gov/mro/mission/communications/>
103. How Much Internet Speed do I REALLY need? [Internet]. OTELCO. 2015 [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.otelco.com/how-much-internet-speed-do-i-really-need/>
104. NASA seeks to boost Mars communication network ahead of human missions – NASASpaceFlight.com [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur:
<https://www.nasaspaceflight.com/2016/04/nasa-boost-mars-comms-network-missions/>
105. esa. New concept may enhance Earth-Mars communication [Internet]. European Space Agency. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur:
http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/New_concept_may_enhance_Earth-Mars_communication
106. Stewart GE, Drudi L. Medical Education for Exploration Class Missions NASA Aerospace Medicine Elective at the Kennedy Space Centre. McGill J Med MJM [Internet]. juin 2011 [cité 18 mars 2018];13(2). Disponible sur:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3277422/>
107. Dentistry in space. Interview with former NASA dentist Dr. Michael H. Hodapp. Dental Tribune June 2013 — Vol 8, No 6. U.S. Edition. juin 2013;A1□3.
108. Aaron Harman, Anil Menon, Sharmila Watkins. Disinfection of Medical Equipment for Exploration Missions: An Assessment of Necessity and Modalities - Google Search [Internet]. 2012 [cité 24 janv 2018]. Disponible sur:
https://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjjp9elkPHYAhVHK8AKHbfGCmoQFggoMAA&url=https%3A%2F%2Fston.jsc.nasa.gov%2Fcollections%2Ftrs%2F_techrep%2FTM-2012-217372.pdf&usg=AOvVaw2XwhJAunqecpANkB1nU3AE
109. Pugel DER. Brushing Your Spacecrafts Teeth: A Review of Biological Reduction Processes for Planetary Protection Missions [Internet]. 2017 mars 4 [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20170002045>
110. CAMBRA: Best Practices in Dental Caries Management [Internet]. [cité 18 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.rdhmag.com/articles/print/volume-31/issue-10/departments/cambra-best-practices-in-dental-caries-management.html>
111. Maréchal H. La photographie dentaire. Etape par étape - Hervé Maréchal [Internet]. [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.decitre.fr/livres/la-photographie-dentaire-9782361340292.html>

112. Mihailovic B, Miladinovic M, Vujcic B. Telemedicine in Dentistry (Teledentistry). In 2011.
113. HRR - Task - Dental Imaging for Exploration Medical System [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/Tasks/task.aspx?i=1480>
114. White SC. Oral Radiology: Principles And Interpretation (6Th Edition). Elsevier (A Division of Reed Elsevier India Pvt. Limited); 2009. 641 p.
115. MENON A. HRR - Gap - ExMC 4.11: Limited dental care capabilities (Closed) [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=435>
116. Lara-Capi C, Cagetti MG, Lingström P, Lai G, Cocco F, Simark-Mattsson C, et al. Digital transillumination in caries detection versus radiographic and clinical methods: an in-vivo study. *Dentomaxillofacial Radiol.* 1 avr 2017;46(4):20160417.
117. CariVu Caries Detection Device | DEXIS [Internet]. [cité 19 déc 2017]. Disponible sur: <http://www.dexis.com/carivu>
118. Yoon H-I, Yoo M-J, Park E-J. Detection of proximal caries using quantitative light-induced fluorescence-digital and laser fluorescence: a comparative study. *J Adv Prosthodont.* déc 2017;9(6):432-48.
119. SOPROCARE | OUTILS DE DIAGNOSTIC | IMAGERIE | Acteon [Internet]. [cité 20 mars 2018]. Disponible sur: <https://www.acteongroup.com/fr/mes-produits/imagerie/outils-de-diagnostic/soprocare>
120. Freitas PM, Simões A. Lasers in Dentistry: Guide for Clinical Practice. John Wiley & Sons; 2015. 375 p.
121. Twetman S, Axelsson S, Dahlén G, Espelid I, Mejåre I, Norlund A, et al. Adjunct methods for caries detection: A systematic review of literature. *Acta Odontol Scand.* 1 janv 2013;71(3-4):388-97.
122. Silver Diamine Fluoride for the Prevention and Arresting of Dental Caries or Hypersensitivity: A Review. In: CADTH Report / Project in Briefs [Internet]. Ottawa (ON): Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; 2011 [cité 27 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481574/>
123. HRR - Task - Development of Medical Suction Technology [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/Tasks/task.aspx?i=879>
124. Ces ingénieurs toulousains fabriquent une imprimante 3D pour la station spatiale [Internet]. *ladepeche.fr.* [cité 12 mars 2018]. Disponible sur: https://www.ladepeche.fr/article/2018/03/12/2757930-espace-ils-developpent-une-imprimante-3d-metal-pour-l-iss.html?google_editors_picks=true
125. Häuplik-Meusburger S, Meusburger H, Lotzmann U. Dental Treatment during a human Mars Mission with remote support and advanced technology. 10 juill 2016 [cité 19 déc 2017]; Disponible sur: <https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/handle/2346/67570>

126. Wilson J. Journey to Mars Overview [Internet]. NASA. 2016 [cité 25 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.nasa.gov/content/journey-to-mars-overview>
127. Menon A. Review of Spaceflight Dental Emergencies - 2-Menon-A_TM-2012-217368.pdf [Internet]. [cité 23 mars 2018]. Disponible sur: <https://humanresearchroadmap.nasa.gov/gaps/gap.aspx?i=435>

Abréviations

- **2D** : Deux Dimensions
- **3D** : Trois Dimensions
- **ART** : Atraumatic Restorative Treatment
- **CAMBRA** : Caries Management By Risk Assessment
- **CBCT** : Cone Beam Computed Tomography
- **CMO** : Crew Medical Officer
- **ECG** : Electrocardiogramme
- **ESA** : European Space Agency
- **Flight surgeon** : Médecin de vol
- **HBD** : Hygiène Bucco-dentaire
- **IDE** : Infirmier Diplômé d'Etat
- **IgG** : Immunoglobuline de type G
- **IMM** : Integrated Medical Model
- **ISS** : International Space Station ou Station Spatiale Internationale
- **JAR-FCL** : Joint Aviation Requirements – Flight Crew Licencing
- **kPa** : KiloPascal
- **NASA** : National Aeronautics and Space Administration
- **OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- **pH** : Potentiel hydrogène
- **PSI** : Pound per Square Inch
- **PST** : Periodontal Susceptibility Test
- **RMP** : Réunion Médicale Privée
- **S.Mutans** : Streptococcus Mutans
- **TéléMBD** : Télé médecine Bucco-Dentaire
- **TIC** : Technologies de l'Information et de la Communication
- **TRL** : Technology Readiness Level
- **URSS** : Union des Républiques Socialistes Soviétiques
- **Veggie** : Vegetable production system

Odontologie spatiale et missions interplanétaires : Apport de la télémedecine bucco-dentaire

Dans les décennies à venir, l'homme sera amené à effectuer des vols spatiaux de longue durée dans le cadre de missions interplanétaires. Parmi les nombreuses difficultés, à la fois financières, éthiques, techniques et médicales, la survenue d'une urgence dentaire est un facteur à considérer.

Le travail bibliographique abordera les divers risques des vols interplanétaires pour la santé orale, avant de citer les méthodes de prévention et de soins dentaires actuellement en place sur l'ISS. Ensuite la question de la télémedecine bucco-dentaire sera abordée ; en premier lieu ses applications actuelles sur Terre et en orbite basse, puis en hypothétisant sur d'éventuelles applications pour les futures missions interplanétaires.

Il est encore trop tôt pour proposer une conduite à tenir précise mais certaines pistes de réflexion qui pourraient répondre aux risques pour la santé orale des équipages seront citées.

Space dentistry and interplanetary missions: The uses of teledentistry

In the not so distant future, interplanetary missions will be a reality and humans will embark upon long duration spaceflights. Among the many difficulties of interplanetary travel, be they financial, ethical, technical or medical, the occurrence of a dental emergency is a factor to be considered.

This bibliographical thesis will address the various risks of interplanetary travel for oral health before mentioning the current dental prevention and treatment methods developed for the ISS. Thereafter teledentistry will be discussed: First, by summarising its current uses on earth and in low earth orbit, and then by hypothesising on possible future applications for long duration exploration-class missions.

This thesis will not bring a definite solution but seeks to assemble several ideas and reflections that could help preserve crews' oral health during interplanetary missions.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : "Odontologie spatiale", "Télémedecine bucco-dentaire", "Missions interplanétaires", "Missions spatiales habitées", "Mars", "Manned space missions", "Interplanetary missions", "Teledentistry", "Space dentistry".

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de chirurgie dentaire, 3 chemin des Maraîchers, 31062, Toulouse Cedex 09

Directeur de thèse : Pr Olivier HAMEL