

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTE DE SANTE – DEPARTEMENT D’ODONTOLOGIE

ANNEE 2024

2024 TOU3 3025

THESE

POUR LE DIPLOME D’ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Gauthier DAMIN

le 27 Mai 2024

**Protocole de recherche bucco-dentaire pour
une mission analogue martienne**

Directeur de thèse : Pr Florent DESTRUHAUT

JURY

Président : Pr Sara LAURENCIN-DALICIEUX

1^{er} assesseur : Pr Florent DESTRUHAUT

2^{ème} assesseur : Pr Paul MONSARRAT

3^{ème} assesseur : Dr Maxime LUIS

4^{ème} assesseur : Dr Safouane HAMDI



**Faculté de santé
Département d'Odontologie**

➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé
M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé
Directrice du Département d'Odontologie
Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjoints
Mme Sarah COUSTY
M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative
Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique
Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

Doyens honoraires
M. Jean LAGARRIGUE +
M. Jean-Philippe LODTER +
M. Gérard PALOUDIER
M. Michel SIXOU
M. Henri SOULET

Chargés de mission
M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)
M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)
M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)
M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)
M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE
Maîtres de Conférences : Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY
Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH
Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Mathieu TESTE, M. Daniel BANDON

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, M. Maxime ROTENBERG
Assistants : Mme Carole VARGAS JOULIA, Mme Chahrazed BELAILI
Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON, M. Vincent VIDAL-ROSSET

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme Catherine NABET)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES
Maîtres de Conférences : Mme Géromine FOURNIER
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL
Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Philippe KEMOUN)

PARODONTOLOGIE

Professeurs d'Université : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX,
Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS
Maîtres de Conférences : M. Antoine AL HALABI
Assistants : M. Loïc CALVO, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE , Mme Myriam KADDECH,
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu RIMBERT, M. Joffrey DURAN

CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS
Assistants : M. Antoine DUBUC
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Jérôme SALEFRANQUE, M. Clément CAMBRONNE

BIOLOGIE ORALE

Professeurs d'Université : M. Philippe KEMOUN, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Matthieu MINTY
Assistants : Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS, Mme Valentine BAYLET GALY-CASSIT, Mme Sylvie LE
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, Mme Inessa TIMOFFEVA-JOSSINET

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Franck DIEMER)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants : M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Loris BOIVIN, M. Thibault DECAMPS, Mme Emma STURARO, Mme Anouk FESQUET
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean-Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE, Mme Lucie RAPP, Mme Marion CASTAING-FOURIER

PROTHESES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,
Maîtres de Conférences : M. Antoine GALIBOURG, M. Julien DELRIEU
Assistants : Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY, M. Anthony LEBON
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Luc RAYNALDY, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE, M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, M. Steven CECCAREL

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur d'Université : Mr. Paul MONSARRAT
Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Thibault CANCEILL
Assistants : M. Olivier DENY, Mme Laura PASCALIN, Mme Alison PROSPER
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 01 février 2024

À *mes parents*, vous êtes ma plus grande richesse et exposer tout ce que vous m'avez apporté dans ma vie ne tiendrait pas dans cette thèse. J'espère vous rendre fiers.

À *mon grand frère Guillaume*, qui m'a toujours compris et soutenu dans mes projets avec bienveillance. Le grand frère sert de modèle et tu en as été un pour moi.

À *ma grand-mère Rose-Marie* qui a toujours été là pour moi avec amour et à *mon grand-père Roger* qui aurait probablement su apprécier ce travail.

À *mes grands-parents Danièle et Gilbert*, qui m'ont transmis leur passion des sciences et grandement contribué à développer celle que j'avais pour le spatial.

À *mon arrière-grand-mère Anna*, qui je suis sûr aurait été fière de moi.

À *ma marraine Florence*, merci de m'avoir donné et partagé tant de choses et de souvenirs.

À *mes cousins et cousines*, avec qui nous formons une famille soudée.

À *mes amis d'enfance* ; *Marc* mon plus vieil ami et l'une de mes plus belles rencontres, *ainsi qu'à mes amis Grégoire et Victor*. Je suis fier de vos parcours même si vous êtes tous bien loin de Toulouse pour vos vies respectives. Je sais que ma passion du spatial est commune avec vous.

À *mon binôme Guillaume*, source d'inspiration pour moi, tu es une personne solide et généreuse en qui j'ai énormément confiance. C'est un vrai honneur d'avoir été à tes côtés et je pèse mes mots.

À *ma binôme Yara*, deux vies opposées et pourtant nous nous sommes rapidement unis en un point, notre profonde envie de voir l'autre réussir. Je garde précieusement notre diplôme de meilleur binôme et j'espère t'avoir inspirée autant que tu m'as inspiré.

À *mon amie Maeva*, qui m'a toujours soutenue et sur qui je peux compter. Tu es la première personne avec qui j'ai été ami dans cette vie d'étudiant en dentaire.

À *mon amie Nadège*, qui partage beaucoup de mes passions. Ta personnalité fait de toi une amie de très haute valeur à mes yeux.

À *mon amie Sophie*, dont l'amitié n'a fait que grandir et se renforcer au fil des études pour devenir encore plus forte une fois celles-ci touchant à leur fin.

À *mon ami Pierre*, je suis très honoré de te connaître et nous pouvons compter l'un sur l'autre. Avec *Sophie*, nous avons vécu tellement de souvenirs inoubliables dans notre fameux *groupe GPS*, qui a déjà sacrément bien débuté son tour du monde et qui le continuera.

À *mes amis dentistes les plus proches, bienveillante Lucile, génie Clément, intrépide Gabriel, inimitable Adeline, authentique Susie, timide Gabrielle, aventurière Inès, majestueuse Anaëlle et star Maya*.

Aux Dr. Checchin et Luis, merci de m'avoir transmis vos connaissances dans une vraie relation de confiance.

Au Dr. Gicquel, merci de m'avoir fait confiance dès la fin de mes études et soutenu dans mes projets.

Au Pr. Destruhaut, merci de m'avoir fait confiance et accompagné dans mes projets de recherche, du master 1 à la thèse.

Au Président du jury,

Madame le Professeur Sara LAURENCIN-DALICIEUX

- Vice Doyenne de la Faculté de Santé de l'Université de Toulouse III Paul Sabatier
- Directrice du Département d'Odontologie
- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Diplôme Universitaire de Parodontologie
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier
- Diplôme Universitaire d'Injection d'Acide Hyaluronique en Odontologie
- Diplôme Universitaire Approches Innovantes en Recherche Biomédicale et en Méta-recherche
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.)

*Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence du jury de
cette thèse.*

*Je vous suis reconnaissant en tant qu'ancien élu étudiant (assez discret) pour votre
disponibilité et vos actions en faveur des étudiants. Sachez que votre présence en tant
que directrice du département est rassurante pour ces derniers.*

Veillez recevoir l'expression de mon plus grand respect et de mon admiration.

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Pr Florent DESTRUHAUT

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Directeur adjoint du département d'Odontologie de la Faculté de Santé de l'Université de Toulouse III Paul Sabatier
- Directeur adjoint de l'Unité de Recherche Universitaire EvolSan (Evolution et Santé Orale)
- Habilitation à Diriger des recherches
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Spécialiste Qualifié "Médecine Bucco-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
- Diplôme Universitaire d'approches innovantes en recherche de TOULOUSE III
- Responsable du diplôme universitaire d'occlusodontologie et de réhabilitation de l'appareil manducateur
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

*Je vous remercie de l'honneur que vous me faites à diriger cette thèse.
Je vous suis reconnaissant de m'avoir permis de travailler sur un sujet qui me passionne
ainsi que de la disponibilité dont vous avez fait preuve tout au long de ce projet aux
multiples étapes.
Je vous remercie d'avoir été disponible en clinique et je vous remercie également d'avoir
rendu accessible vos enseignements au travers de vidéos très pédagogiques qui m'ont
beaucoup aidé à comprendre les concepts de la prothèse complète, c'est une forme
d'enseignement à encourager.
Veuillez recevoir l'expression de mon plus grand respect, de ma gratitude et de mon
admiration.*

Au jury de thèse,

Monsieur le Professeur Paul MONSARRAT

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur de l'Université Paul Sabatier - Spécialité Physiopathologie
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D maxillo-faciale
- Diplôme Universitaire de Recherche Clinique en Odontologie
- Habilitation à Diriger les Recherches
- Lauréat de la faculté de Médecine Rangueil et de Chirurgie Dentaire de l'Université Paul Sabatier

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de faire partie de mon jury de thèse.

Votre pédagogie, que ce soit en séminaire lors des premiers cours de 2ème année ou lors des vacances en clinique, fut efficace et bienveillante.

Vous êtes très accessible et chaque fois qu'il a été nécessaire de vous voir mes attentes ont toujours été satisfaites.

Merci également d'avoir accepté de jouer le jeu pour la vidéo du gala de l'année dernière.

Veuillez recevoir ici l'expression de mon plus grand respect et de mon admiration.

Au jury de thèse,

Monsieur le Docteur Maxime LUIS

- Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES Biomatériaux en Odontologie Mention Caractérisation et Évolution
- Membre de l'équipe Intestin ClinicOmics Oral Microbiote INCOMM/INSERM

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites en acceptant de faire partie de mon jury de thèse.

Je vous suis extrêmement reconnaissant pour l'année que j'ai passé en clinique avec vous, une année où vous avez toujours été disponible et à l'écoute, où mes questions ont toutes pu trouver leurs réponses et où j'ai pu soigner avec confiance dans le but d'apprendre mon métier de la plus saine des façons.

Vous êtes une personne inspirante tant sur le plan de l'art dentaire que sur le plan humain.

Veillez recevoir l'expression de mon plus grand respect, de ma gratitude et de mon admiration.

Au jury de thèse,

Monsieur le Docteur Safouane HAMDI

- Maître de Conférences des Universités
- Biologiste des Hôpitaux
- Docteur en Pharmacie
- Docteur en Sciences de Biologie Cellulaire

*Je vous remercie d'avoir chaleureusement accepté de faire partie de ce jury de thèse
pourtant extérieur à votre département.
Veuillez recevoir ici l'expression de mon respect et de ma plus grande gratitude.*

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	12
1. CONTEXTE.....	12
1.1. UNE NOUVELLE COURSE À L'ESPACE.....	12
1.2. PRÉSENTATION DE LA MISSION ANALOGUE.....	16
2. ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES.....	21
2.1. L'IMPORTANCE DE LA SANTÉ ORALE DANS CETTE MISSION.....	21
2.2. LA RECHERCHE BUCCO-DENTAIRE PASSÉE DANS LES MISSIONS ANALOGUES MARTIENNES.....	25
3. OBJECTIFS.....	26
POPULATION, MATERIEL ET METHODES.....	27
1. SITE DE L'ÉTUDE.....	27
2. POPULATION ET INTERVENTION.....	27
3. RECUEIL DES DONNÉES.....	28
4. EXAMENS RÉALISÉS ET VARIABLES RECUEILLIES.....	29
4.1. EXAMENS ENDOBUCCAUX.....	29
4.1.1. Examen 1 : Odontogramme.....	30
4.1.2. Examen 2 : Score de minéralisation dentaire.....	32
4.1.3. Examen 3 : Indice de plaque dentaire.....	34
4.2. EXAMENS SALIVAIRES.....	36
4.2.1. Examen 4 : Mesure du pH salivaire.....	36
4.2.2. Examen 5 : Mesures microbiologiques salivaires.....	37
4.3. EXAMENS DES PARAFONCTIONS ORALES.....	39
4.3.1. Examen 6 : Évaluation du bruxisme.....	39
4.4. EXAMENS OCCLUSO-POSTURAUX ET MUSCULAIRES.....	40
4.4.1. Examen 7 : Muscular Activity MAC 1.....	41
4.4.2. Examen 8 : Mandibular Cinematics MAC 2.....	44
4.4.3. Examen 9 : Mass Center MAC 3.....	47
5. MÉTHODE : ANALYSE.....	48
6. MÉTHODE : ÉTHIQUE TERRIENNE ET SPATIALE.....	50
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS.....	51
1. DISCUSSION DE LA MÉTHODE.....	51
2. DISCUSSION DES RÉSULTATS ATTENDUS.....	52
CONCLUSION.....	54
ANNEXES.....	55
TABLE DES FIGURES.....	57
BIBLIOGRAPHIE.....	59

INTRODUCTION

1. CONTEXTE

1.1. UNE NOUVELLE COURSE À L'ESPACE

Le 12 avril 1961, le cosmonaute soviétique Youri Gagarine devient le premier humain à voyager dans l'espace lors de la mission Vostok 1. Depuis ce rapide vol d'1 heure et 48 minutes, l'humanité n'a eu de cesse de repousser les limites de l'exploration spatiale habitée. Après une décennie d'innovations fulgurantes et dans un contexte de démonstration de puissance lors de la première course à l'espace entre les États-Unis et l'URSS, l'apogée fut atteinte le 21 juillet 1969 quand l'astronaute Neil Armstrong posa son pied sur la Lune lors de la mission Apollo 11. Depuis cet exploit, aucun nouveau programme n'a eu l'ambition d'envoyer l'humain au-delà de cet astre et l'humanité n'a jamais dépassé l'orbite lunaire. Une mission habitée interplanétaire semble depuis cette époque n'être qu'un rêve trop ambitieux réservé aux œuvres de science-fiction.

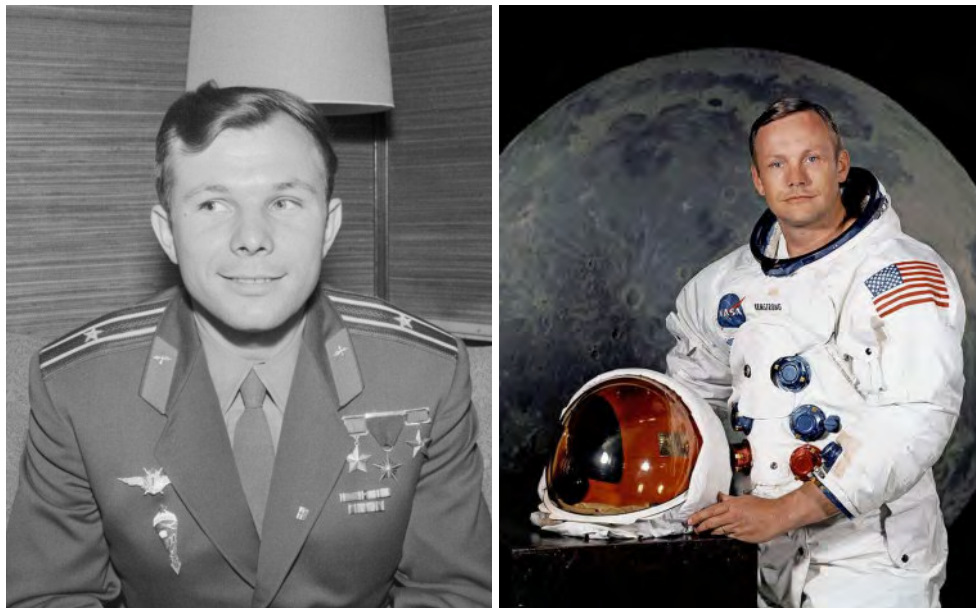


Figure 1 : Youri Gagarine (à gauche) et Neil Armstrong (à droite).

Images : domaine public

Actuellement, les missions spatiales habitées se limitent à des missions de quelques mois en orbite terrestre basse dans la *Station Spatiale Internationale (ISS)*. Mais cette dernière a une fin d'utilisation programmée pour 2031 et aucun programme n'est prévu

pour la remplacer (1). La continuité de l'exploration spatiale habitée à l'échelle américaine et européenne sera assurée par le programme *Artemis* qui prévoit le retour d'êtres humains sur et autour de la Lune dans des stations lunaires à partir de 2025 (2). La Chine prévoit également sa première mission lunaire habitée pour 2029 (3).

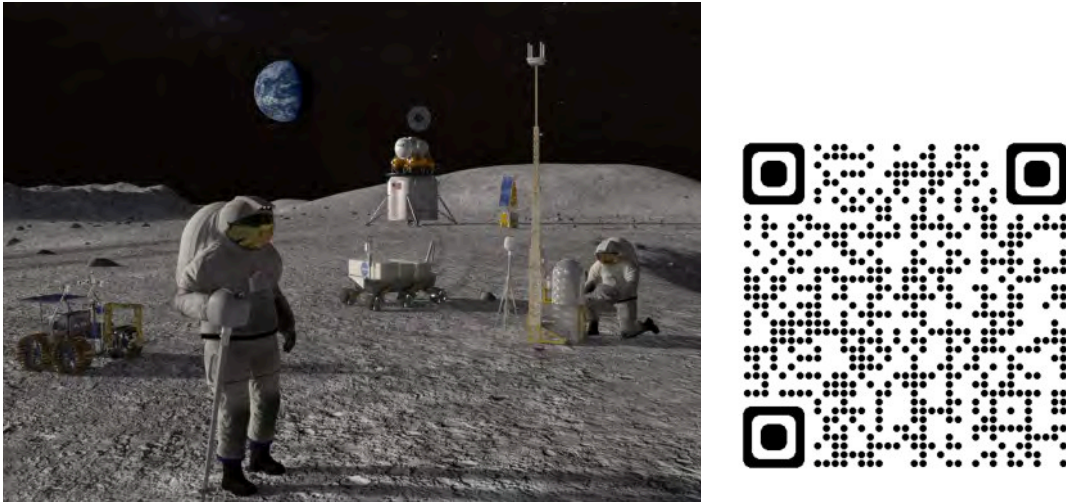


Figure 2 : Vue d'artiste de la NASA d'une mission *Artemis* sur la Lune.

(QR code : Document "*Artemis Plan*" de la NASA de septembre 2020)

Image : domaine public

Ces nouvelles missions lunaires ont de multiples objectifs, dont celui de recueillir les données suffisantes pour ouvrir la voie aux missions habitées interplanétaires et envoyer en toute sécurité "le premier astronaute sur Mars" (4). Une nouvelle course à l'espace commence et nombreuses sont les agences spatiales, ou même entreprises privées, qui rêvent de réaliser cet exploit (5).

De toutes les planètes du système solaire à explorer, c'est bien Mars, dite la planète rouge, qui est actuellement privilégiée par les agences spatiales. Le spationaute français Thomas Pesquet dit à ce sujet en 2016 dans la préface de l'ouvrage *Embarquement pour MARS* : « Le voyage de l'humanité vers Mars, c'est le futur proche, réel, tangible de l'exploration spatiale, et même de l'exploration humaine, tant l'exploration spatiale n'est que la prolongation dans un milieu ô combien plus difficile de la grande aventure, jamais interrompue, de l'exploration par l'homme de son environnement » (6).

Mars est la quatrième planète du système solaire par ordre croissant de distance au soleil et c'est une voisine directe de la Terre. Planète tellurique d'environ la moitié du diamètre de la Terre et d'un tiers de sa gravité, la durée des jours y est comparable bien que de par son éloignement au soleil l'année martienne soit deux fois plus longue. Les

missions d'explorations robotisées de la planète ont permis de confirmer une présence passée d'eau liquide et des conditions proches de celles de la Terre à la même époque il y a plus de 3,5 milliards d'années. C'est une planète pleine de potentiel, tant de par son intérêt scientifique, d'habitabilité ou d'étape vers des explorations futures encore plus lointaines (7).

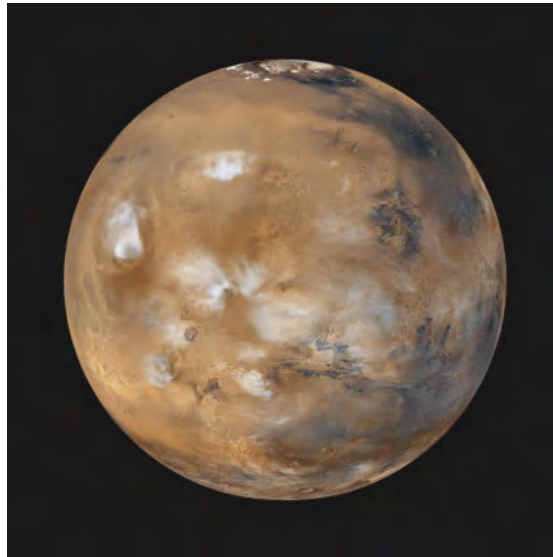


Figure 3 : Mars prise par la sonde *Mars Global Surveyor* (1999)

Image : nasa.gov

Mais sa proximité avec la Terre reste relative, Mars est un désert aride et froid dont l'atmosphère constituée à 98% de Dioxyde de Carbone (CO₂), sa pression atmosphérique équivalente à 1% de la pression terrestre, ses températures extrêmes et son faible champ magnétique laissant passer les rayons cosmiques rendent toute vie humaine impossible à sa surface sans équipements adaptés (8).

Les défis d'une mission interplanétaire sont immenses et impliquent de nouvelles recherches pour espérer rendre ces missions possibles un jour. En l'état actuel, une mission habitée martienne n'est pas envisageable à court terme et aucune date ne peut être fixée de façon réaliste. Nous sommes dans la période de préparation et d'anticipation à long terme de ces missions et pour le moment « une mission interplanétaire humaine dépasse encore les capacités technologiques et médicales actuelles » (9).

C'est dans ce contexte de préparation à la nouvelle aventure interplanétaire, qu'un équipage de 7 astronautes analogues de l'*ISAE-SUPAERO*, école spécialisée dans le domaine de l'ingénierie aérospatiale située à Toulouse, part chaque année en mission dans la *MARS DESERT RESEARCH STATION (M.D.R.S.)* située dans le désert de l'Utah

aux Etats-Unis. Cette station, qui appartient à la *Mars Society*, est un laboratoire de recherche cherchant à simuler le plus fidèlement possible ce que serait la vie dans une base martienne future, tout en restant sur notre planète (10).



Figure 4 : Vue d'ensemble de la M.D.R.S

Image : Marsociety.org

1.2. PRÉSENTATION DE LA MISSION ANALOGUE

Cette mission dans la *M.D.R.S.* s'inscrit dans le cadre des « missions analogues ». L'Agence spatiale américaine (*NASA*) définit les missions analogues comme des « missions dans des environnements qui présentent des similitudes physiques avec un environnement spatial extrême » (11), ici la planète Mars. Lors de cette mission analogue martienne l'équipage simule, durant 1 mois, la vie dans les conditions extrêmes de la planète rouge pour obtenir le maximum de données scientifiques en conséquence.



Figure 5 : Sortie extra-véhiculaire du "Crew 275"

Image : mars.bde-supero.fr

La *M.D.R.S.* est un habitat permettant de faire vivre un équipage en autonomie la plus complète, et soumis dans la limite du possible aux mêmes contraintes et procédures qu'en mission réelle. La station comprend plusieurs modules reliés par des tunnels permettant aux astronautes de ne jamais quitter la simulation et des tenues sont équipées lors des sorties hors de la station.

Le centre de la station est le Hab, qui contient tous les espaces de vie de l'équipage ainsi que le sas de dépressurisation pour les sorties extravéhiculaires.

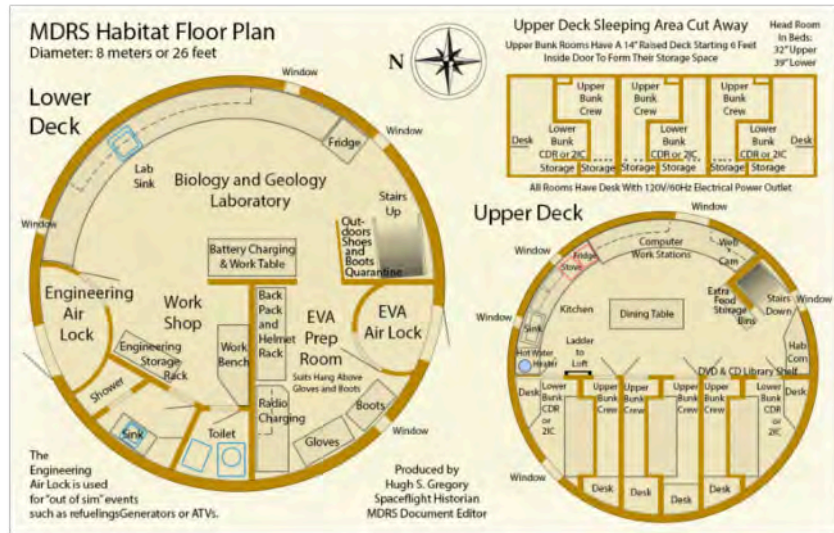


Figure 6 : Plan du HAB de la M.D.R.S

Image : Marsociety.org

Le Green-Hab est une serre aux multiples fonctions qui permet de réaliser des expériences scientifiques sur les végétaux ainsi que d'obtenir des fruits et légumes frais pour les repas de la vie quotidienne.



Figure 7 : Vue intérieure du Green-Hab par le "Crew 240"

Image : mars.bde-supero.fr

Le RAMM (Repair and Maintenance Module) est un atelier dans la station permettant de réaliser les réparations diverses, du petit matériel de la station aux rovers.



Figure 8 : Vue extérieure du RAMM par le "Crew 240"

Image : mars.bde-supero.fr

Le Science Dôme sert de lieu de stockage des expériences scientifiques.



Figure 9 : Vue extérieure du Science Dôme

Image : mars.bde-supero.fr

On trouve également deux observatoires, l'un manuel pour l'observation du soleil le jour et l'autre robotisé pour l'observation du ciel nocturne.

La station est autonome en électricité fournie par des panneaux solaires. Ces panneaux servent également de source d'énergie pour des rovers électriques permettant le déplacement des astronautes lors des sorties hors de la station.



Figure 10 : Rovers du “crew 275” en sortie extra-véhiculaire

Image : mars.bde-supero.fr

Au niveau alimentaire l'équipage consomme des aliments lyophilisés sauf exception pour les aliments produits dans le Green-Lab, la serre de la station, qui permet certaines cultures végétales.



Figure 11 : Conserves d'aliments lyophilisés (“Crew 275”)

Image : mars.bde-supero.fr

L'équipage est intégralement constitué d'étudiants de cette école et membres du club *M.A.R.S (Mars Analog Research and Simulation)*, association interne à l'école *ISAE-SUPAERO* qui organise le projet de la mission chaque année depuis 2014. Le nom de l'équipage de la mission de 2024 est le Crew 293. L'équipage est constitué de 7 astronautes analogues participant chacun à la vie de la station et aux expériences scientifiques en fonction de leur rôle attribué. Nous trouvons un commandant, un scientifique, un journaliste, un ingénieur de bord, un agent santé-sécurité, un botaniste et un astronome.

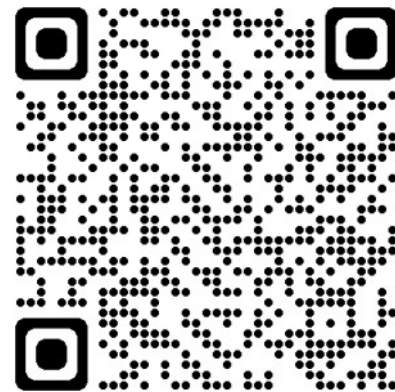


Figure 12: Le "crew 275" avant sa mission devant la M.D.R.S

(QR Code : Site internet du club M.A.R.S.)

Image : mars.bde-supero.fr

L'objectif de ces missions analogues est scientifique et une grande part des expériences sont consacrées à la biologie humaine. En mission réelle, les astronautes martiens auront de nombreuses tâches à accomplir et ils devront conserver une santé compatible avec la mission tout au long de celle-ci. Il devient impératif, par le biais de recherches analogues, d'anticiper quels paramètres biologiques pourraient être impactés lors d'une mission martienne.

2. ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES

2.1. L'IMPORTANCE DE LA SANTÉ ORALE DANS CETTE MISSION

D'après les scénarios envisagés par la *NASA* et la *Mars Society*, la durée d'un voyage interplanétaire lorsque la Terre et Mars sont aux plus proches étant de 6 mois et cette fenêtre de tir ne se produisant que tous les 18 mois, une mission habitée martienne devrait durer autour de 900 jours en additionnant le temps passé sur place et l'aller-retour (12).

L'actuel record de durée d'un vol spatial humain est établi à 437 jours consécutifs par le russe Valeri Polyakov(13) et les effets sur la santé d'une mission spatiale de 900 jours ne sont pas prévisibles en l'état actuel des connaissances (14).

D'après la *NASA*, le taux d'incidence estimé d'une maladie ou blessure grave lors d'une mission martienne est d'une personne par mission (15).

Parmi ces incidences médicales, les atteintes orales font partie de celles pouvant impacter significativement la santé des astronautes en provoquant notamment des douleurs ou des altérations de l'état général incompatibles avec le bon déroulé de la mission. D'après un rapport de la *NASA*, les affections bucco-dentaires représentent l'un des 5 risques médicaux majeurs les plus susceptibles d'impacter négativement une mission longue durée (16).

Des études de l'US Navy sur le personnel de sous-marins, environnement qui de par son isolement pressurisé de longue durée peut se rapprocher sous certains aspects d'une mission interplanétaire, décrivent que jusqu'à 9,3% des évacuations médicales le sont pour un cause bucco-dentaire (17).

La santé bucco-dentaire des astronautes d'une mission martienne est un paramètre sensible car elle est rapidement évolutive dans le temps et nécessite un entretien constant ; un bon état bucco-dentaire avant la mission ne signifie pas une absence de problème au cours de la durée du voyage (18).

Deux objectifs sont fondamentaux : Maintenir en bonne santé des individus soumis à des contraintes importantes, et pouvoir traiter, le cas échéant, des pathologies dans l'espace avec des contraintes de matériel et de personnel (19).

Des chirurgiens-dentistes ne seront probablement pas présents dans l'équipage des premières missions martiennes, et l'équipage sera isolé de la Terre. Les futurs astronautes seront tenus de maintenir une bonne santé bucco-dentaire tout au long de la mission notamment par des actes de prévention et d'hygiène orale (20).

Le plus célèbre événement dentaire survenu dans l'histoire de la conquête spatiale a eu lieu lors de la mission soviétique Saliout 6 en 1978, où le cosmonaute Youri Romanenko a subi des douleurs dentaires importantes lors des deux dernières semaines de son séjour dans l'espace, l'empêchant de continuer pleinement la mission jusqu'à son retour sur Terre (21).



Figure 13 : Examen bucco-dentaire lors de la mission Skylab 2 (1973)

Image : nasa.gov

Mais les conditions de cet événement survenu lors d'un vol de courte durée en orbite terrestre basse ne sont pas transposables à une mission martienne. L'approche actuelle de l'odontologie spatiale, qui prend notamment en possibilité un retour en urgence sur Terre, devra être modifiée et adaptée pour ces nouvelles missions aux durées inédites. Les examens bucco-dentaires éventuels devront plutôt être réalisés en télémédecine bucco-dentaire interplanétaire.(22)

L'OMS et la loi française définissent la télémédecine comme "un acte médical réalisé à distance grâce à l'usage des technologies de l'information et de la communication" (23).

L'utilisation du flux numérique avec des outils technologiques innovants tels que les caméras optiques intra orales, sera particulièrement adapté à de la télémédecine bucco-dentaire interplanétaire future, les données biologiques pouvant voyager numériquement entre Mars et la Terre (24).

Mais cette télémédecine ne pourra pas être en temps réel et nécessite des procédures adaptées en cas d'urgence. De par l'éloignement progressif de la mission à la Terre, une donnée numérique peut mettre jusqu'à 40 minutes pour faire l'aller-retour entre la Terre et Mars (25). Et lorsque la Terre et Mars sont en opposition totale autour du Soleil, les communications peuvent même être totalement interrompues durant plusieurs semaines (26).



Figure 14 : Un astronaute pratique une avulsion dentaire sur un simulateur

Image : nasa.gov

Une étude réalisée en 2015 lors de la mission analogue martienne *Amadee-15* a évalué avec succès la capacité à réaliser un soin dentaire en urgence par un équipage d'astronautes en utilisant la technologie CFAO dentaire (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) sur Mars. Dans ce scénario l'astronaute chute sur le sol de la base martienne et le choc lui provoque des douleurs dentaires invalidantes. Il effectue lui-même un scanner intraoral et les données numériques sont transmises à la Terre pour être analysées par des spécialistes qui établissent le diagnostic ; une prémolaire

inférieure présente une fracture coronaire. Une couronne dentaire partielle sur mesure en composite est conçue sur Terre par les spécialistes et les données numériques 3D sont envoyées vers Mars pour une impression 3D de la couronne sur place. Un membre d'équipage réalise l'anesthésie locale nécessaire grâce à un guide également imprimé en 3D, met en place la couronne avec des techniques adhésives et vérifie l'absence d'interférences.(27)

Un tel dispositif ouvre de belles perspectives ; chaque gramme envoyé vers Mars coûte très cher et complexifie la mission, limitant au maximum les possibilités d'emport de matériel, de consommables et d'équipage. Ce scénario permet à un équipage isolé de rester en autonomie médicale. L'essor du flux numérique et de l'intelligence artificielle nous montrent que la réalisation des soins dentaires sera très différente dans les décennies suivantes et d'ici la première mission martienne, multipliant les possibilités futures.(28)



Figure 15 : Scanner intraoral lors de la mission Amadee-15.

Image : H. Meusburger

2.2. LA RECHERCHE BUCCO-DENTAIRE PASSÉE DANS LES MISSIONS ANALOGUES MARTIENNES

Dans la littérature scientifique rares sont les études s'intéressant à des paramètres de la santé orale humaine lors des vols spatiaux en microgravité(29), et encore plus rares sont celles réalisées lors des missions analogues martiennes :

À la MDRS, on peut noter une étude de 2013 qui a révélé que lors d'une mission analogue de simulation martienne, une baisse significative des IgG salivaires se produisait et les marqueurs d'inflammation des gencives étaient exacerbés.(30) IgG est corrélé aux paramètres parodontaux et semble être protecteur de la maladie parodontale ; l'immunité orale pourrait être compromise.

Une autre étude de 2012 également menée à la MDRS a montré que la perception du goût par les "astronautes" était altérée et une augmentation significative des biomarqueurs du stress était retrouvée dans la salive.(31) Le goût et le stress sont deux paramètres ayant des influences en cascade notamment par la modification des habitudes alimentaires et de l'hygiène de vie qui sont des facteurs de risque importants de modification de l'équilibre de la santé orale d'un individu.(32) (33)

Une autre mission analogue, la mission Russe MARS-500 où des volontaires ont passé 520 jours en isolement total pour simuler une mission de durée réelle, a trouvé des impacts sur la salive et sur le microbiote buccal qui évoluaient au cours de la mission.(34) Il a également été documenté une perte de motivation aux routines d'hygiène bucco-dentaire au fil de la mission particulièrement longue pour les sujets.(35)

Ces études, bien que réalisées sur de très faibles échantillons, semblent indiquer un impact des missions analogues sur la santé de la sphère bucco-dentaire et ses facteurs de risque. Mais beaucoup de paramètres bucco-dentaires n'ont jamais été évalués et de nombreuses études complémentaires sont nécessaires. Le potentiel de recherche est énorme et nous sommes encore dans la phase exploratoire.

3. OBJECTIFS

Ce travail de recherche a pour objectif principal de proposer un protocole permettant de comparer l'évolution de certains paramètres bucco-dentaires avant et après la mission analogue. Pour répondre à cet objectif, nous formulons l'hypothèse qu'une mission de simulation analogue martienne pourrait impacter la santé bucco-dentaire de l'être humain.

Nos objectifs secondaires sont l'analyse des variations dentaires, parodontales, salivaires, occlusales et neuro-musculaires (sur le plan oro-facial) de sujets lors d'une simulation analogue de mission martienne.

Nous allons développer un protocole exploratoire quasi expérimental minimalement invasif permettant de mettre en évidence par anticipation, des paramètres biologiques de la sphère orale qui pourraient être impactés lors d'une réelle mission sur Mars.

POPULATION, MATERIEL ET METHODES

1. SITE DE L'ÉTUDE

Le protocole a été mis en place au sein du Département d'Odontologie de la Faculté de Santé de Toulouse. La mission de simulation martienne, lieu de l'intervention, prendra place dans la station *M.D.R.S.* à proximité de Hanksville dans le désert de l'Utah aux États-Unis pour une durée de 27 jours.

2. POPULATION ET INTERVENTION

Les sujets inclus dans l'étude sont les 7 astronautes analogues constituant l'équipage de la mission, tous étudiants de l'*ISAE-SUPAERO*.



Figure 16 : Les 7 astronautes analogues de la mission précédente de 2023

Image : mars.bde-supero.fr

Tous les paramètres et tâches quotidiennes de cette simulation analogue martienne dépendent du *club M.A.R.S.* de l'*ISAE-SUPAERO* ; excepté la routine d'hygiène bucco-dentaire standardisée pour notre protocole et se basant sur les recommandations

actuelles de la NASA pour la *Station Spatiale Internationale*, qui suivent les habitudes terriennes du pays de l'astronaute concerné (36) : Un brossage des dents trois fois par jour et l'utilisation d'un dentifrice fluoré entre 1000 et 1500 ppm de fluor (37).

Il est à noter que les astronautes de la *Station Spatiale Internationale* sont libres de choisir leur propre brosse à dents, leur propre dentifrice et le nettoyage interdentaire n'est pas dans les recommandations à destination astronautes, bien que ces derniers sont libres d'emporter du fil ou des brossettes interdentaires s'ils le souhaitent (38).

3. RECUEIL DES DONNÉES

Les sujets remplissent un questionnaire médical permettant d'obtenir leur consentement libre et éclairé ainsi que leurs antécédents médicaux notables (*Annexe 1*). Une fois le questionnaire rempli et le consentement signé, les données des sujets sont anonymisées, un numéro est attribué à chaque sujet et le protocole peut commencer.

Ce protocole se déroule en 3 temps :

- Juste avant le départ pour la mission, une série d'exams bucco-dentaires est réalisée au laboratoire en France.
- Les sujets réalisent la mission analogue dans la *MDRS* aux États-Unis
- Juste après la mission, la même série d'exams bucco-dentaires est à nouveau réalisée au laboratoire en France. Les données y seront ensuite analysées.



Figure 17 : Récapitulatif de la mission

Images : mars.bde-supero.fr / dentaire.univ-tlse3.fr

4. EXAMENS RÉALISÉS ET VARIABLES RECUEILLIES

4.1. EXAMENS ENDOBUCCAUX

Une série d'examens endobuccaux est réalisée sur un fauteuil dentaire au département d'odontologie de la faculté de Toulouse dont voici le matériel :

- Sonde d'examen dentaire n°6
- Miroir buccal
- Coton
- Gants en nitrile
- Boitier d'appareil photo avec objectif macro
- Ecarteurs
- Empreinte optique (Primescan, Dentsply Sirona, New York, USA)
- Logiciel de traitement (Dental System, 3Shape, Copenhague, Danemark)
- Laser à fluorescence (DIAGNOdent pen, KAVO Dental, Allemagne)
- Révélateur de plaque (Tri Plaque ID Gel, GC Corporation, Japon)

4.1.1. Examen 1 : Odontogramme

Description de l'examen :

L'odontogramme est un schéma représentant l'ensemble des dents d'une personne, ses anomalies, lésions et réparations diverses(39). C'est un examen visuel et non invasif ayant pour but de cartographier l'état de santé anatomique des dents et des tissus attenants des sujets.

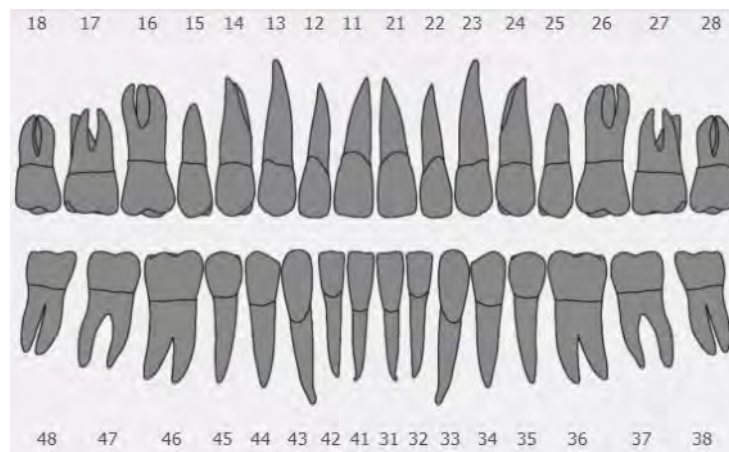


Figure 18 : Schéma dentaire

Image : Logiciel LOGOSw

Nous constaterons dans notre cas la présence ou l'absence de dents, les lésions cavitaires dentaires, et l'état anatomique de la gencive attenante.

L'examen est réalisé visuellement au fauteuil. Des photographies et une empreinte optique de chaque arcade et de leur occlusion sont réalisées en complément pour l'intégrer au flux numérique, comme envisagé lors d'une mission martienne.

Cet examen s'inscrit dans l'idée d'une mission martienne de longue durée car un odontogramme permet de réaliser un suivi bucco-dentaire de l'astronaute équivalent à celui réalisé dans un cabinet dentaire terrien.



Figure 19 : Caméra d’empreinte optique intra buccale Primescan (à gauche)

Figure 20 : Flux numérique dans une démonstration du logiciel Dental System (à droite)

Images : dentsplysirona.com

Recueil des données :

Pour chaque dent nous notons sous forme de “non/oui” ; son absence, la présence d’une perte de substance dentaire cavitaire obturée ou non et enfin toute récession gingivale par rapport au collet anatomique supérieure ou égale à 1 mm. Les données qualitatives pour chaque dent et paramètre sont transformées en variable quantitative nommée “Score Odontogramme” allant de 0 à 128 où chaque donnée individuelle prend la valeur 0 (non) ou 1 (oui). Cet examen est nommé dans cette étude : examen 1.

DENTS																				
Absente																				
Perte de substance dentaire																				
Récession vestibulaire																				
Récession linguale																				
DENTS																				
Absente																				
Perte de substance dentaire																				
Récession vestibulaire																				
Récession linguale																				

Figure 21 : Recueil des données examen 1

4.1.2. Examen 2 : Score de minéralisation dentaire

Description de l'examen :

La dent est un organe masticateur hautement différencié situé dans la mâchoire, formée par de l'émail, de la dentine, du cément et de la pulpe.(40)

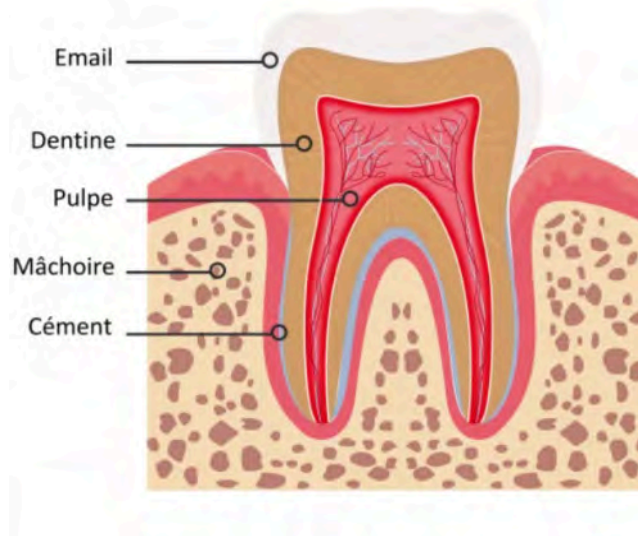


Figure 22 : Coupe schématique d'une dent

L'émail et la dentine sont des tissus essentiellement minéraux et leur degré de minéralisation fluctue au cours du temps sous la dépendance d'un équilibre de facteurs minéralisants et déminéralisants. Une déminéralisation du tissu dentaire est susceptible d'indiquer une lésion carieuse à ses différents stades, mêmes réversibles(41). La carie dentaire est une destruction de l'émail puis de la dentine des dents par les acides produits par certaines bactéries(42).

Les facteurs individuels modulant ces cycles de minéralisation-déminéralisation sont entre autres la composition de la flore microbienne buccale, la composition et la quantité de salive, l'apport en fluorures, l'accès aux soins, l'hygiène de vie et les habitudes alimentaires(43). Tous ces facteurs sont fortement susceptibles d'être modifiés lors d'une mission martienne et l'apparition de caries lors de vols spatiaux est documentée dans la littérature avec une carie survenue dans la Station Spatiale Russe *Mir* (1986-2001).(44)

Le laser à fluorescence est un outil permettant de mesurer de façon quantitative sur un score de 0 à 100 le degré de déminéralisation des tissus dentaires (45) quel que soit l'opérateur de façon fiable et reproductible (46).

Cet examen est plein de potentiel et pourrait s'inscrire dans les routines de contrôles et examens diagnostiques bucco-dentaires réalisés sur Mars même par un opérateur non chirurgien-dentiste.



Figure 23 : Laser à fluorescence DIAGNOdent Pen

Image : kavo.com

Recueil des données :

Pour chaque dent plusieurs mesures sont réalisées, une mesure vestibulaire, une mesure linguale et une mesure occlusale. Une moyenne de l'addition des mesures sur leur nombre total est réalisée pour obtenir la variable quantitative appelée "Score de déminéralisation dentaire" notée de 0 à 100. Cet examen est nommé examen 2.

4.1.3. Examen 3 : Indice de plaque dentaire

Description de l'examen :

La plaque dentaire est un biofilm complexe qui s'accumule sur les surfaces de la cavité buccale et notamment les dents. Elle est essentiellement constituée de protéines salivaires, de microorganismes et de toxines (47). La plaque dentaire peut être efficacement éliminée par l'utilisation d'une brosse à dent et d'un dentifrice quotidiennement (48). Mais la littérature montre que l'isolement a tendance à provoquer du stress et diminuer les routines d'hygiène quotidiennes (49).

Difficile à objectiver à l'œil nu, elle est facile à mettre en évidence par l'utilisation d'un révélateur de plaque et le calcul de son indice est un examen courant en odontologie. L'intérêt de son évaluation dans notre protocole est multiple car en plus de servir d'indicateur sur la qualité de l'hygiène bucco-dentaire du sujet, c'est un des facteurs de risques principaux des maladies carieuses et parodontales (50). Les tissus parodontaux représentent tous les tissus qui supportent la dent ; la gencive, le ligament alvéolo-dentaire, le cément et l'os alvéolaire. C'est un support indispensable au maintien de la fonction de la dent (51).

Il est à noter qu'une précédente étude visant à évaluer l'effet de la nourriture des astronautes lors d'une mission analogue de plus courte durée a également évalué l'évolution de l'indice de plaque et a montré une amélioration de cet indice au cours du temps, probablement par la standardisation de la routine bucco-dentaire (52).

Recueil des données :

Nous utilisons ici la méthode de l'Oral Hygiene Index, créée par Greene et Vermillons, qui permet d'évaluer de façon rapide et fiable "l'indice de plaque" d'un individu. Cette méthode consiste en une notation visuelle de 0 à 3 de la présence de plaque, sur les faces vestibulaires et linguales de chaque dent, d'additionner ces notations et de faire le rapport sur le nombre total de secteurs observés, permettant d'obtenir un score allant de 0 à 100. Plus il est élevé, et plus la présence de plaque est importante (53).



Figure 24 : GC Tri Plaque ID Gel (à gauche)

Figure 25 : Vue endobuccale avant et après application de révélateur (à droite)

Images : gc.dental / Ajeverett

Le révélateur de plaque Tri Plaque ID Gel, qui colore la plaque dans des teintes allant du bleu au violet, sera utilisé. Nous obtenons une variable quantitative comprise entre 0 et 100, appelée "Indice de plaque". Cet examen est nommé examen 3.

4.2 EXAMENS SALIVAIRES

Matériel : Tube stérile, pH Mètre, Boîtes de pétri gélosées, Séquenceur Métagénomique (MiSEQ - Illumina, USA)

La salive est un fluide biologique buccal produit en continu par des glandes salivaires. Elle a notamment un rôle dans la régulation de l'homéostasie buccale, la protection des tissus dentaires et parodontaux, la défense immunitaire, la digestion et la perception du goût.(54)

Pour les deux examens suivants, un échantillon salivaire du sujet est recueilli par méthode de crachat. Le sujet retient sa salive pendant 1 minute en bouche et une quantité de 2 à 5 ml sera recueillie dans un flacon stérile de 50 ml.

4.2.1. Examen 4 : Mesure du pH salivaire

Description de l'examen :

Le pH est une mesure quantitative du niveau d'acidité d'une solution dans une échelle continue de 0 à 14 (55).

Le pH salivaire moyen d'un sujet sain est généralement neutre (56). Sa mesure est considérée comme un biomarqueur diagnostique important, les différentes bactéries de la plaque dentaire ont des niveaux de croissance dépendants du pH (57) et l'acidification du pH salivaire est directement associée à la maladie carieuse (58).

Lors des vols spatiaux en microgravité, il a été noté que la composition ainsi que la sécrétion de la salive ont tendance à se modifier (59). On peut s'attendre à une salive aux propriétés modifiées.

Recueil des données :

Le pH est mesuré par pH-mètre. Le pH est recueilli sous forme de variable quantitative continue allant de 0 à 14 appelée "Score de pH salivaire". Cet examen est nommé examen 4.

4.2.2. Examen 5 : Mesures microbiologiques salivaires

Description de l'examen :

La flore buccale est intimement liée à la santé bucco-dentaire. Les maladies buccales les plus fréquentes ont une origine bactérienne telles que la maladie carieuse, représentée entre autres par la bactérie *Streptococcus mutans*(60) ou encore la maladie parodontale avec entre autres *Porphyromonas gingivalis*(61), *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*(62) et *Fusobacterium nucleatum*(60), pour citer les plus populaires.

Il est documenté que le microbiote buccal est altéré et devient plus pathogène pour les dents et les gencives lors des vols spatiaux (29). Une étude menée lors de l'expédition TAWT, traversée hivernale de l'antarctique menée en 2013, semble indiquer qu'en condition d'isolement, la modification de la flore buccale ne dépend pas de la durée mais plutôt du niveau de contrainte et de stress subit par le sujet et augmente quand les conditions deviennent plus extrêmes (63).

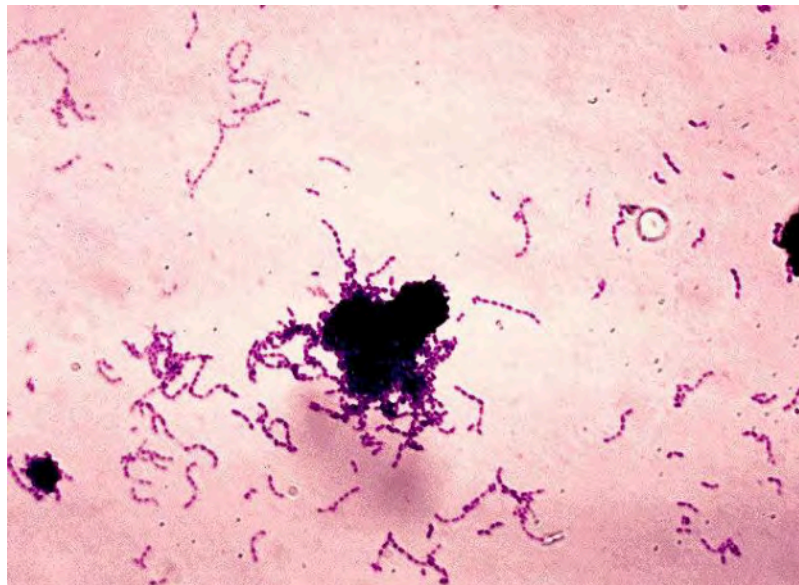


Figure 26 : Streptococcus mutans au microscope

Image : Domaine public

Recueil des données :

Une analyse taxonomique (MiSEQ) de la composition microbiologique de la salive est appliquée. L'évaluation de la composition microbiologique de la salive est complétée par une mise en culture sur gélose non spécifique. Nous obtenons ainsi la taxonomie bactérienne, une quantification des colonies en Unités Formant Colonies (UFC) et la quantité de bactéries par ml de salive, nous permettant d'apprécier la diversité qualitative et la quantité par espèce.

La variable obtenue est le pourcentage de similarité de la flore buccale avant et après la mission de simulation martienne, variable quantitative allant de 0 à 100. Cet examen est nommé examen 5.

4.3 EXAMENS DES PARAFONCTIONS ORALES

4.3.1. Examen 6 : Évaluation du bruxisme

Matériel : Questionnaire BRUXiq établi par J.D. Orthlieb en 2017 (Annexe 2).

Description de l'examen :

Les parafunctions orofaciales sont l'ensemble des activités anarchiques exercées de manière répétée ou prolongée mettant en jeu les organes de la sphère oro faciale ; celles-ci peuvent être conscientes et inconscientes (64). Une des parafunctions les plus répandues et qui toucherait jusqu'à 22,1% de la population générale est le bruxisme, avec une majorité de bruxisme nocturne (65).

Le bruxisme se définit comme une activité répétitive des muscles de la mâchoire caractérisée par le serrement ou le grincement des dents (66). Ses conséquences sont une usure dentaire par attrition, des fractures, des hypersensibilités dentaires, des atteintes parodontales, des douleurs articulaires à la mâchoire et des douleurs aux muscles masticateurs (67).

Les facteurs du bruxisme sont multifactoriels mais semblent largement favorisés par les métiers de l'aéronautique dont sont majoritairement issus les astronautes. La prévalence du bruxisme est largement augmentée chez les pilotes militaires, jusqu'à 69% (68).

Recueil des données :

Nous réalisons le questionnaire BRUXiq établi par J.D. Orthlieb en 2017. Ce questionnaire s'adresse au sujet évalué et permet sur des critères précis et reproductibles d'évaluer la présence et la sévérité d'un bruxisme (*Annexe 2*). Nous obtenons ainsi un score reproductible d'évaluation du bruxisme sous forme de variable quantitative allant de 0 à 72 appelée "Score de bruxisme évalué". Cet examen est nommé examen 6.

4.4 EXAMENS OCCLUSO-POSTURAUX ET MUSCULAIRES

Matériel :

- *Logiciel Myotronics (Myotronics, USA)*
- *Electromyographe de surface (K7 Evaluation System, Myotronics, USA)*
- *Trackeur 3D de position mandibulaire (K7 Evaluation System, Myotronics, USA)*
- *Plateforme de stabilométrie (Medicaptureurs, France)*

Des liens entre le système stomatognathique et divers désordres de la santé générale ont été mis en évidence tels qu'avec les troubles temporo-mandibulaires (69) (70), l'aggravation du bruxisme (71) et même les performances physiques et sportives (72) (73).

Un lien bidirectionnel a également été mis en évidence entre l'occlusion dentaire et la posture (74).

Pour ce qui est des vols spatiaux, la littérature indique un lien entre les vols spatiaux en microgravité et les troubles temporo-mandibulaires d'origine musculaires (75).

Cette santé occluso-posturale est difficile à objectiver quantitativement et peut varier en fonction de critères neuro-musculaires. Nous utiliserons le protocole **MAC**, décrit-ci après, protocole permettant d'obtenir des données reproductibles analysant l'activité des muscles élévateurs de la mandibule par électromyographie de surface, les mouvements de la mandibule dans l'espace par tracking mandibulaire et la stabilité posturale par une plateforme de stabilométrie. Ce protocole est aujourd'hui utilisé dans plusieurs recherches visant à l'évaluation de l'activité neuro-musculaire. (76) (77)

Ce protocole se répartit en 3 phases d'examens successifs évaluant dans l'ordre :

- L'activité musculaire : Muscular Activity = MAC 1
- La cinématique mandibulaire : Muscular cinematics = MAC 2
- La posture : Mass Center = MAC 3.

4.4.1. Examen 7 : Muscular Activity MAC 1

La phase d'examens MAC 1 est divisée en 3 sous-examens distincts. Elle analyse par électromyographie de surface l'activité des muscles éleveurs superficiels de la mandibule (78). Des électrodes sont placées sur la peau du sujet au niveau de l'emplacement de 8 muscles, les chefs droits et gauches des : Masséters, temporaux, sterno-cléido-mastoïdien et digastriques antérieurs.(79)

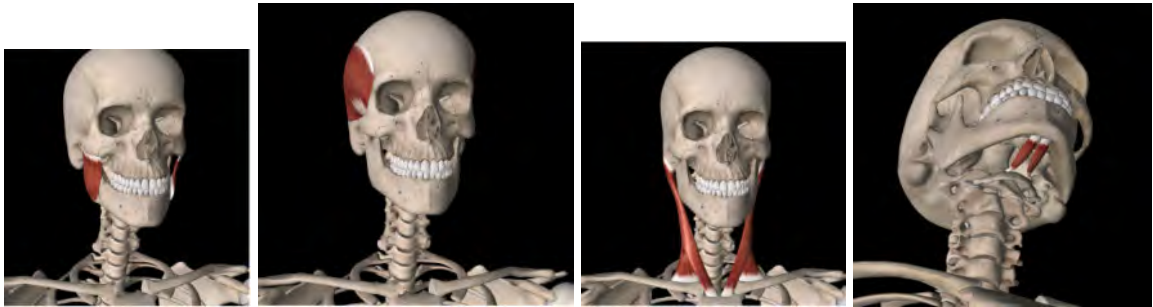


Figure 27 : Muscles analysés (de gauche à droite) : Masséters / Temporaux /
Sterno-Cléido-Mastoïdiens / Digastriques antérieurs

MAC 1a / Le tonus musculaire (activité tonique posturale) :

Un enregistrement de l'activité au repos de ces muscles est effectué. Le patient est assis, les yeux fermés, détendu et ne contracte pas. La valeur est comparée à une valeur de référence. Un potentiel plus élevé indique une hyperactivité des muscles au repos. Chaque donnée, en électronvolt au dixième près, est transformée pour chaque muscle en variable quantitative discrète 0 en cas d'égalité ou d'infériorité et 1 en cas de potentiel supérieur.

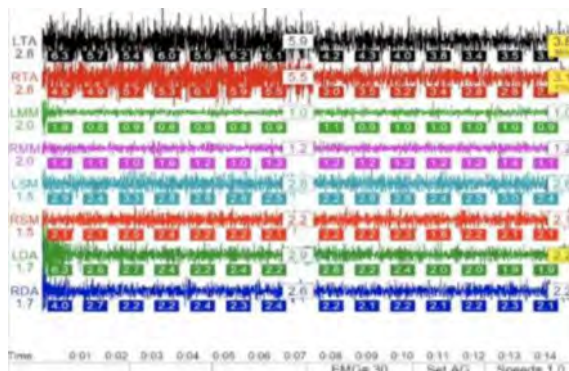


Figure 28 : Exemple d'enregistrement électromyographique du tonus musculaire

Muscle	LTA	RTA	LMM	RMM	LCG	RCG	LDA	RDA
Potentiel de référence (eV)	2.8	2.8	2.0	2.0	2.2	2.2	1.7	1.7
Potentiel enregistré (eV)								

Figure 29 : Tableau de recueil des données MAC 1a

MAC 1b / La chronologie des contractions musculaires (synchronisme) :

Enregistrement des temps de réaction des muscles masséters et temporaux. Le praticien demande au patient de contracter progressivement, de la position de repos mandibulaire à la contraction maximale. Nous notons qualitativement l'asynchronisme inter musculaire et intramusculaire (droit et gauche) des muscles, donnée recueillie sous forme de variable quantitative discrète : 0 en cas de synchronisme et 1 en cas d'asynchronisme.

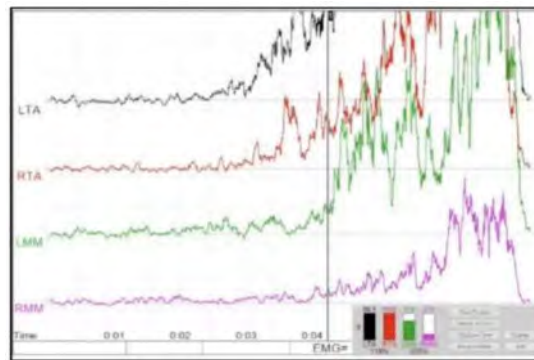


Figure 30 : Exemple d'enregistrement du synchronisme musculaire

Inter Musculaire	Synchrone		
	Asynchrone	Masséters priment Temporaux priment	
Intra Musculaire	Masséters	Synchrone	
		Asynchrone	Droit prime Gauche prime
	Temporaux	Synchrone	
		Asynchrone	Droit prime Gauche prime

Figure 31 : Tableau de recueil des données MAC 1b

MAC 1c / La force de contraction (efficience) :

Enregistrement de l'activité musculaire des muscles masséters et temporaux. Le patient mord puis relâche plusieurs fois à la demande du praticien. Nous notons qualitativement l'équivalence des forces entre les muscles droits et gauches et transformons cette valeur en variable quantitative discrète : 0 en cas d'équivalence et 1 en cas de non équivalence.

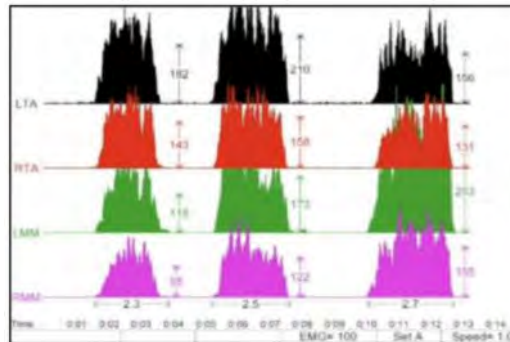


Figure 32 : Exemple d'enregistrement de la force de contraction musculaire

Masséters	<i>Forces équivalentes</i>	
	<i>Forces non équivalentes</i>	Droit > Gauche
		Droit < Gauche
Temporaux	<i>Forces équivalentes</i>	
	<i>Forces non équivalentes</i>	Droit > Gauche
		Droit < Gauche

Figure 33 : Tableau de recueil des données MAC 1c

Recueil des données :

Pour chacun de ces sous-examens, à unités de mesure distinctes, nous transformons les données en un score, nous donnant une variable quantitative nommée "Score de l'activité musculaire MAC1" allant de 0 à 13. Cet examen est nommé examen 7.

4.4.2. Examen 8 : Mandibular Cinematics MAC 2

La phase MAC 2 est également divisée en 3 sous-examens distincts. Elle détermine les mouvements mandibulaires dans l'espace par tracking mandibulaire : Un aimant est positionné au niveau des incisives mandibulaires et des capteurs suivent sa position spatiale en temps réel.

MAC 2a / Espace libre d'inocclusion de repos physiologique (ELIRP) et déglutition :

Positionnement d'un trackeur mandibulaire aimanté en inter-incisif. Enregistrement du décalage dans les trois sens de l'espace de la position mandibulaire au repos et de la position en occlusion d'intercuspidation maximale (OIM). Le praticien demande au patient d'alterner position de repos et OIM. L'enregistrement de la déglutition permet l'enregistrement fonctionnel de l'OIM, position physiologique de référence dans le cycle de la mastication.

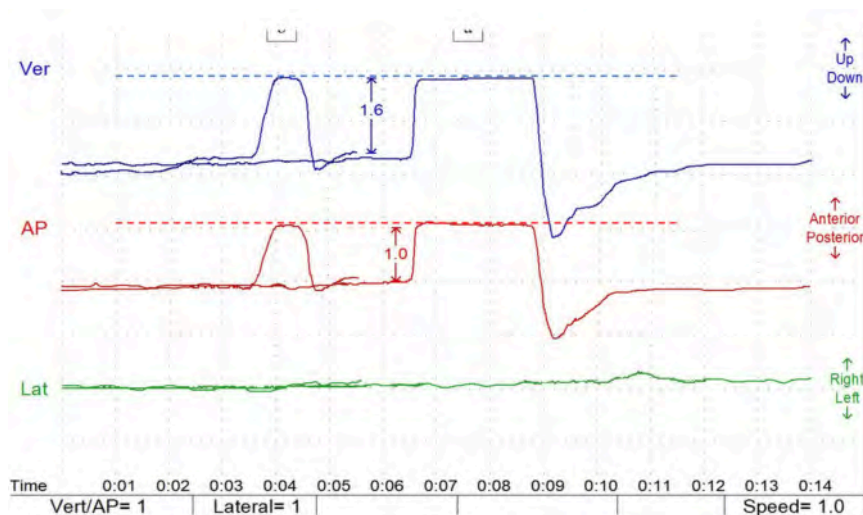


Figure 34 : Superposition tracé ; ELIRP puis déglutition

Décalage OIM – Position de repos
Antéropostérieur
Transversal
Vertical

Figure 35 : Tableau de recueil des données MAC 2a

MAC 2b / L'amplitude de réalisation des mouvements mandibulaires :

Enregistrement du diagramme de Farrar (réalisation d'ouvertures/fermetures et de latéralités droite gauche) ainsi que de mouvements de propulsion à la demande du praticien. Étude de l'amplitude d'exécution des mouvements. Nous notons les variations sur les trajets d'ouverture, de diduction, de propulsion et de fermeture. Nous réalisons ainsi la différence entre la valeur maximale d'ouverture avant et après la mission.

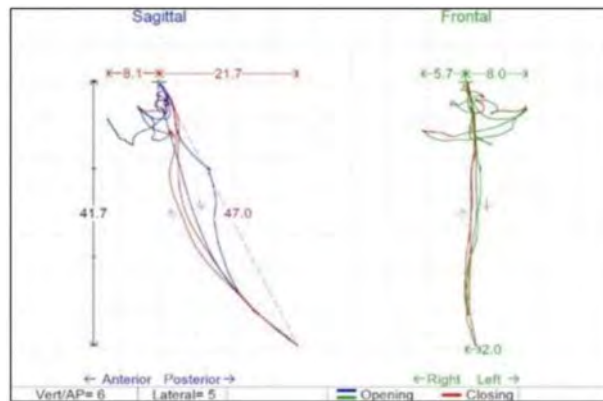


Figure 36 : Exemple de tracé du mouvement d'ouverture et de fermeture

Mesures	Trajectoires
Ouverture	
Diduction droite	
Diduction gauche	
Propulsion	
Fermeture	

Figure 37 : Tableau de recueil des données MAC 2b

MAC 2c / La vitesse d'exécution des mouvements d'ouverture et de fermeture (vélocité) :

Enregistrement de la vitesse d'ouverture/fermeture. Le patient réalise des mouvements d'ouverture/fermeture rapides en ouvrant la bouche de manière maximale puis en retournant à l'OIM. Nous réalisons ainsi la différence entre les valeurs de vitesse d'ouverture avant et après la mission.

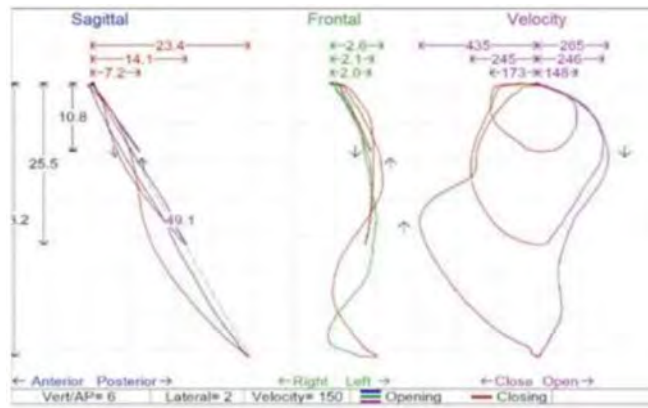


Figure 38 : Exemple de tracé de la vitesse d'ouverture et de fermeture

	Vitesses	Observations
Ouverture		
Fermeture		

Figure 39 : Tableau de recueil des données MAC 2c

Recueil des données :

Nous additionnons les scores obtenus à chacun de ces sous-examens pour obtenir une variable quantitative continue nommée "Score de la cinématique mandibulaire MAC2". Cet examen est appelé examen 8.

4.4.3. Examen 9 : Mass Center MAC 3

L'examen MAC 3 analyse la stabilité de l'individu et sa posture. Lors de la phase MAC 3, le patient passe à trois reprises 51,2 secondes sur une plateforme de stabilométrie en cherchant à rester stable et la plateforme enregistre le centre de pression du patient, projection au sol de son centre de gravité. Un sens particulier est mis à l'épreuve lors des 3 enregistrements.



Figure 40 : Plateforme de stabilométrie
Image : medicapteurs.com

MAC 3a / Evaluation du sens visuel :

Le patient doit rester stable en fixant un point devant lui.

MAC 3b / Evaluation du sens podal et vestibulaire :

Le patient doit rester stable au repos les yeux fermés.

MAC 3c / Evaluation du sens occlusal :

Le patient doit rester stable en occlusion d'intercuspidie maximale les yeux fermés.

Recueil des données :

Lors de chaque enregistrement de 51,2 secondes, nous constatons l'amplitude de variation moyenne de la position du centre de pression entre chacun de ces examens sous forme de variable quantitative continue formant le "Score de stabilométrie MAC3". Cet examen est appelé examen 9.

5. MÉTHODE : ANALYSE

Nous proposons une méthodologie de recherche comparative quasi-expérimentale «avant/après» où chaque sujet est son propre témoin. Cette étude est une **étude exploratoire** avec un nombre de sujets restreint qui n'est pas calculé en fonction d'un effet attendu.

Toutes les variables recueillies et nommées dans le protocole présenté précédemment, sont des variables quantitatives, décrites en termes de moyennes, d'écart-type, de médiane, de minimum et maximum. Le critère de jugement principal est un critère multiple composé de critères de jugements principaux alternatifs «*Alternative primary endpoints*»(80) liés à chacun des examens indépendants de cette étude. Une hypothèse nulle est formulée respectivement pour chacun des tests statistiques et décrit l'absence de différence moyenne significative entre avant et après la mission de simulation martienne pour la variable indépendante étudiée. Les hypothèses alternatives sont une différence moyenne significative bilatérale entre avant et après la mission pour chacun de ces tests. Le rejet d'au moins une hypothèse nulle est nécessaire pour conclure à une différence significative sur le critère de jugement principal.

Un test de student paramétrique pour échantillons appariés est utilisé, dont ses conditions de validité doivent être vérifiées par le test de Shapiro-Wilk qui confirme la normalité de la distribution des données. En cas de non validité, un test non paramétrique de Wilcoxon apparié est employé en alternative.

Le risque de première espèce est fixé à $\alpha = 0,05$. L'étude ayant un faible nombre de sujets et un caractère exploratoire, nous tolérons l'inflation du risque de première espèce liée à la multiplicité cumulée des tests statistiques pour augmenter la sensibilité du test. Nous le verrons ci-après dans la partie discussion de la méthode.

Examen	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Variables	0 à 128	0 à 100	0 à 100	0 à 72	0 à 14	0 à 100	0 à 13	0 à infini	0 à infini
Moyenne avant									
Moyenne après									
Différence des moyennes									
Statistique de test									
P-value									

Figure 41 : Tableau d'analyse statistique

6. MÉTHODE : ÉTHIQUE TERRIENNE ET SPATIALE

Ce protocole de recherche impliquant la personne humaine nécessite de satisfaire à des exigences éthiques obligatoires.

Ce protocole de recherche prenant place dans deux pays ; les États-Unis qui sont le lieu de l'intervention, et la France qui est le lieu du recueil et de l'analyse des données : Nous réalisons une demande auprès du comité d'éthique de la recherche (CER) de l'Université de Toulouse qui ne se prononce que pour la partie du protocole prenant place en France, et une demande d'IRB (*Institutional Review Board*) auprès d'un comité d'éthique américain pour la partie du protocole aux États-Unis.

À ces considérations éthiques terriennes, s'ajoute la forme particulière de l'éthique de l'exploration spatiale discutée par les agences spatiales internationales et qui vise notamment au respect de l'astronaute, de prévenir son "instrumentalisation" au service de la technique spatiale, de ses risques encourus, ainsi qu'à une utilisation durable de l'espace pour les générations futures. L'exploration spatiale habitée doit s'inscrire dans une justification non pas basée sur un rapport économique coûts/bénéfices, mais dans une justification "trans-utilitaire", notamment scientifique, technologique et culturelle(81).

S'inscrivant dans un contexte d'amélioration de la santé future des astronautes, ce protocole semble respecter ces conditions d'éthique spatiale.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

L'étude n'a pas encore eu lieu, les résultats ne sont pas disponibles. Mais nous allons pouvoir discuter de la méthode et des résultats attendus.

1. DISCUSSION DE LA MÉTHODE

Cette étude est pilote et exploratoire dans un domaine où la recherche est peu développée au moment de sa rédaction. Les examens réalisés ont été choisis arbitrairement pour obtenir des données sur une large étendue de paramètres de la santé orale. Aucune référence reconnue ne regroupe toutes les variables des examens de cette étude en un seul critère de jugement et la multiplicité de ces critères est nécessaire face au nombre limité de sujets et le manque de données sur l'effet attendu. Les variables recueillies sont indépendantes et d'importance non équivalentes sur la santé orale d'un individu.

En raison de contraintes dépendant notamment de la forme des missions analogues, ce protocole comporte certains biais identifiables à priori tels que ; l'absence de groupe de contrôle, de randomisation et de camouflage en aveugle des sujets et des observateurs ; ainsi qu'un biais de sélection, la population étant relativement homogène et issue d'un même groupe celui des étudiants de l'ISAE-SUPAERO.

La multiplicité des examens a tendance à augmenter le nombre de faux positifs, acceptable dans une étude à visée diagnostique à faible nombre de sujets, mais peut limiter la puissance statistique et impose de réaliser de prochaines études plus spécifiques pour confirmer les résultats significatifs éventuels de cette étude qui n'a qu'une visée exploratoire dans un domaine peu étudié.

À l'exception de la routine d'hygiène bucco-dentaire quotidienne, ce protocole ne s'intéresse pas directement aux conditions de la simulation analogue martienne, dépendantes de l'ISAE-SUPAERO et de la *Mars Society*. Il est à noter que simuler les conditions de vie auxquelles un corps humain serait confronté lors d'une mission interplanétaire n'est pas possible en l'état actuel des connaissances, la Terre possédant notamment une gravité, un ensoleillement, un stress à l'isolement et un taux de rayonnements cosmiques différents (82) (83).

2. DISCUSSION DES RÉSULTATS ATTENDUS

Nous pouvons réfléchir aux résultats attendus. Nous avons émis l'hypothèse d'un impact significatif de la mission sur les paramètres oraux, résultat attendu au vu des conditions de vie plus extrêmes lors d'une simulation analogue de mission martienne, en cohérence avec les études précédemment citées en introduction.

Mais l'absence de groupe de contrôle et de randomisation en aveugle ne nous permettent pas d'exclure totalement que ce résultat ne soit pas lié à l'intervention.

S'il n'y a pas de variation entre avant et après la mission, il est possible que les tests ne soient pas assez sensibles ou pertinents pour détecter des modifications de santé orale dans les conditions expérimentales de cette mission. Si au contraire les paramètres de santé bucco-dentaire s'améliorent, ce résultat peut également venir de biais présents dans cette étude, les sujets savent être suivis pour leur santé bucco-dentaire ce qui peut influencer positivement des facteurs de risques notables de la santé orale tels que les habitudes alimentaires ou encore une observance accrue des routines d'hygiène bucco-dentaire.

Les données sont recueillies à distance du lieu de l'intervention, géographiquement et temporellement, diminuant la pertinence des résultats. De prochaines études complémentaires qui formeraient les « astronautes analogues » au recueil des données directement au cours de la « mission analogue » pourraient permettre de limiter certains biais et d'améliorer la pertinence des résultats obtenus.

L'échantillon de ce protocole d'une taille limitée et issu d'une population jeune très homogène, n'est probablement pas représentatif d'un futur équipage vers la planète Mars, ce qui peut fausser les résultats obtenus. En raison du taux calculé de radiations reçues par les astronautes lors d'un éventuel voyage martien, la NASA pose une contre-indication relative à des astronautes du profil de notre étude. Un homme astronaute de moins de 25 ans voyageant sur Mars est à la limite recommandée maximale de radiations fixée actuellement par la NASA et une femme astronaute du même âge dépasse cette limite de façon significative.(84)

Cette mission ne simule que le moment à la surface de la planète rouge, mais une grande partie du temps d'une mission martienne s'écoulerait en fait dans l'espace

interplanétaire. Les effets du trajet sur le corps humain et la santé orale doivent s'additionner à ceux passés sur la planète rouge mais cette étude ne les prend pas en compte. La durée de l'expérience est également très courte et ne représente que 6% du temps total envisagé à passer sur Mars lors d'une mission réelle.(12)

Bien que de par les contraintes d'une « mission analogue », l'extrapolation des résultats obtenus dans cette étude à un vrai équipage d'astronautes martiens est imparfaite, ces résultats sont susceptibles d'avoir des impacts positifs sur les missions analogues futures, en améliorant les habitudes, la formation et le suivi en santé orale des astronautes analogues. Ces résultats représentent une première étape nécessaire au développement d'études complémentaires pour l'obtention de données solides en santé orale martienne, domaine où la littérature est peu fournie.

CONCLUSION

Ce travail de thèse d'exercice a fait émerger un protocole préliminaire d'étude pour détecter et anticiper des changements physiopathologiques à l'échelle de la sphère oro-faciale, mais aussi orienter la recherche bucco-dentaire martienne, qui pour le moment est très peu fournie. Ce protocole pourrait ouvrir à de nouveaux travaux de recherche plus spécifiques et impacter la place de la santé orale dans les prochaines missions analogues martiennes.

Il est impossible d'évaluer à l'heure actuelle quels besoins, quelles procédures et quel matériel sera emporté lors des premières missions vers Mars, même en se basant sur les missions spatiales déjà effectuées. Des technologies n'existant pas encore devront être développées et les futures missions lunaires vont permettre de simuler plus fidèlement une mission martienne tout en restant à proximité relative de la Terre (85).

La préparation des missions habitées vers Mars est pleine de défis et conduira à des avancées majeures en termes de compréhension, de prévention et d'innovations technologiques dont les retombées serviront au futur commun de l'humanité (6).

Dans la chronologie de l'histoire de la santé bucco-dentaire interplanétaire, nous sommes encore à l'âge des pionniers qui ouvrent la voie pour les générations futures.

« Tout ce qu'un homme peut imaginer, un jour d'autres hommes le réaliseront »

Jules Verne, écrivain français

Vu, le Directeur de Thèse

Pr Florent DESTRUHAUT :



Vu, la Présidente du jury

Pr Sara LAURENCIN-DALICIEUX :



ANNEXES

(Annexe 1) Questionnaire médical et consentement :

QUESTIONNAIRE MÉDICAL ET CONSENTEMENT

Nom : Prénom :
Date de naissance : .../.../..... Numéro de téléphone :
Adresse mail :

Profession / Études :

Avez-vous des antécédents médicaux : Cardiaque / Vasculaire / Pulmonaire / Rénal /
Diabète / Hépatique / Sanguin / Thyroïde / Digestif / Dépression / Épilepsie /
Cancer / VIH, sida / Herpès, zona / Autre :

Si Oui précisez :

Avez-vous déjà subi une opération ? Si oui : Valve cardiaque / Pace-maker / Stents /
 Pontage / Greffe / Hanche / Cancer / Rein / Autre :
.....

Prenez-vous des médicaments ? Si oui, précisez :

Avez-vous déjà eu une réaction allergique ? Si oui, précisez :

Avez-vous déjà eu une endocardite infectieuse ? Oui / Non

Êtes-vous enceinte ? Oui / Non **Depuis quand :** **Allaitiez-vous ?** Oui / Non

Fumez-vous du tabac ? Oui / Non

Depuis quand : **Quantité (paquets/jours) :**

Consommez-vous de l'alcool ? Oui / Non

Si oui : Moins ou égal à 1/mois 1/semaine 1 à 6 fois/semaine Quotidiennement

Consommez-vous d'autres substances : Oui / Non **Si oui, précisez :**
.....

Je certifie que les informations fournies dans ce questionnaire sont exactes.

Je soussigné (nom/prénom) donne mon consentement libre et éclairé pour participer à cette étude.

Fait à
Le.....

Signature :

(Annexe 2) Questionnaire BRUXiq établi par J.D. Orthlieb en 2017 :

Nom : _____ Prénom : _____ Date : _____

EVALUATION du BRUXISME - QUESTIONNAIRE BRUXiq

A remplir par le patient : cercler les chiffres "0" pour NON, "1", pour Oui léger, "2", pour Oui modérément, "3", pour Oui beaucoup.

	Non	Oui un peu	Oui	Oui bcp
1 Pensez vous grincer des dents en dormant ?	0	1	2	3
2 Eveillé, avez-vous tendance à grincer des dents ?	0	1	2	3
3 Eveillé, avez-vous tendance à contracter vos muscles de la mâchoire, à serrer les dents, ?	0	1	2	3
4 Eveillé, avez-vous tendance à faire bouger vos dents en serrant dessus?	0	1	2	3
5 Avez vous tendance à vous ronger les ongles ?	0	1	2	3
6 Avez vous l'habitude de mâcher du chewing-gum ?	0	1	2	3
7 Avez vous tendance à vous mâchonner la joue, la lèvre, un objet ?	0	1	2	3
8 Avez vous tendance à presser la langue, ou les lèvres, contre les dents ?	0	1	2	3
9 Avez vous tendance à respirer par la bouche ?	0	1	2	3
10 Vous arrive t'il de vous réveiller la nuit conscient que vous étiez en train de serrer les dents ?	0	1	2	3
11 Avez-vous des sensations de fatigue dans les muscles de la mâchoire au réveil ?	0	1	2	3
13 Ressentez vous le matin au réveil des dents douloureuses ou en «carton» comme anesthésiées ?	0	1	2	3
14 Avez vous un sommeil difficile ?	0	1	2	3
15 Pensez vous ronfler en dormant ?	0	1	2	3
16 Avez-vous tendance à avoir la bouche sèche au réveil ?	0	1	2	3
17 Avez-vous tendance à être fatigué au réveil, à la somnolence dans la journée ?	0	1	2	3
18 Avez vous tendance à ressentir votre environnement psycho-social comme stressant ?	0	1	2	3
19 Vous ressentez vous comme plutôt sensible sur le plan émotionnel ?	0	1	2	3
20 Avez vous tendance à absorber souvent des produits excitants (tabac, café, drogue ...etc) ?	0	1	2	3
21 Avez des problèmes d'acidité buccale (alimentation ou boissons acides, nausée, reflux...) ?	0	1	2	3
22 Ressentez vous des sensibilités un peu globales des dents ?	0	1	2	3
23 Ressentez vous des maux de tête le matin au réveil ?	0	1	2	3
24 Souffrez vous de troubles neurologiques ?	0	1	2	3
Total = BRUXiq				

TABLE DES FIGURES

- Figure 1** : *Youri Gagarine et Neil Armstrong.* / Domaine public. (page 12)
- Figure 2** : *Vue d'artiste de la NASA d'une mission Artemis sur la Lune.* / Domaine public (page 13)
- Figure 3** : *Mars prise par la sonde Mars Global Surveyor (1999)* / nasa.gov (page 14)
- Figure 4** : *Vue d'ensemble de la M.D.R.S* / marssociety.org (page 15)
- Figure 5** : *Sortie extra-véhiculaire du "Crew 275"* / mars.bde-supero.fr (page 16)
- Figure 6** : *Plan du HAB de la M.D.R.S* / marssociety.org (page 17)
- Figure 7** : *Vue intérieure du Green-Hab par le "Crew 240"* / mars.bde-supero.fr (page 18)
- Figure 8** : *Vue extérieure du RAMM par le "Crew 240"* / mars.bde-supero.fr (page 19)
- Figure 9** : *Vue extérieure du Science Dôme* / mars.bde-supero.fr (page 20)
- Figure 10** : *Rovers du "crew 275" en sortie extra-véhiculaire* / mars.bde-supero.fr (page 21)
- Figure 11** : *Conserves d'aliments lyophilisés ("Crew 275")* / mars.bde-supero.fr (page 22)
- Figure 12** : *Le "crew 275" avant sa mission devant la M.D.R.S* / mars.bde-supero.fr (page 23)
- Figure 13** : *Examen bucco-dentaire lors de la mission Skylab 2 (1973)* / nasa.gov (page 24)
- Figure 14** : *Un astronaute pratique une avulsion dentaire sur un simulateur* / nasa.gov (page 25)
- Figure 15** : *Un astronaute analogue réalise un scanner intraoral lors de la mission Amadee-15* / H. Meusburger (page 26)
- Figure 16** : *Les 7 astronautes analogues de la mission précédente de 2023* / mars.bde-supero.fr (page 27)
- Figure 17** : *Récapitulatif de la mission* / mars.bde-supero.fr - dentaire.univ-tlse3.fr (page 28)
- Figure 18** : *Récapitulatif de la mission* / Logiciel logosw (2024) (page 30)
- Figure 19** : *Caméra d'empreinte optique intra buccale Primescan* / dentsplysirona.com (page 31)
- Figure 20** : *Flux numérique dans une démonstration du logiciel Dental System* / dentsplysirona.com (page 31)
- Figure 21** : *Tableau du recueil des données examen 1 créé pour ce protocole* (page 31)

- Figure 22** : *Coupe schématique d'une dent* / chien.com (page 32)
- Figure 23** : *Laser à fluorescence DIAGNOdent Pen* / kavov.com (page 33)
- Figure 24** : *GC Tri Plaque ID Gel* / gc.dental (page 35)
- Figure 25** : *Vue endobuccale avant et après application de révélateur* / Ajeverett (wikipedia.org CC BY-SA 4.0 licence) (page 35)
- Figure 26** : *Streptococcus mutans au microscope* / Domaine public (page 37)
- Figure 27** : *Masséters - Temporaux - Sterno-Cléido-Mastoïdiens - Digastriques antérieurs* (page 41)
- Figure 28** : *Exemple d'enregistrement électromyographique du tonus musculaire* (page 41)
- Figure 29** : *Tableau de recueil des données MAC 1a* (page 42)
- Figure 30** : *Exemple d'enregistrement du synchronisme musculaire* (page 42)
- Figure 31** : *Tableau de recueil des données MAC 1b* (page 42)
- Figure 32** : *Exemple d'enregistrement de la force de contraction musculaire* (page 43)
- Figure 33** : *Tableau de recueil des données MAC 1c* (page 43)
- Figure 34** : *Superposition tracé ; ELIRP puis déglutition* (page 44)
- Figure 35** : *Tableau de recueil des données MAC 2a* (page 44)
- Figure 36** : *Exemple de tracé du mouvement d'ouverture et de fermeture* (page 45)
- Figure 37** : *Tableau de recueil des données MAC 2b* (page 45)
- Figure 38** : *Exemple de tracé de la vitesse d'ouverture et de fermeture* (page 46)
- Figure 39** : *Tableau de recueil des données MAC 2c* (page 46)
- Figure 40** : *Plateforme de stabilométrie* / medicapteurs.com (page 47)
- Figure 41** : *Tableau d'analyse statistique* (page 49)

BIBLIOGRAPHIE

1. O'Callaghan J. What will replace the International Space Station? [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.bbc.com/future/article/20230512-what-will-replace-the-international-space-station>
2. Artemis III: NASA's First Human Mission to the Lunar South Pole - NASA [Internet]. 2023 [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/missions/artemis/artemis-iii/>
3. Decourt R. Futura. [cité 29 janv 2024]. La Chine confirme son ambition d'aller sur la Lune avant 2030. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/exploration-humaine-chine-confirme-son-ambition-aller-lune-avant-2030-62734/>
4. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/artemis/NASA> [Internet]. [cité 16 janv 2024]. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/artemis/NASA>: Artemis. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/specials/artemis/index.html>
5. Decourt R. Futura. [cité 12 févr 2024]. SpaceX « devancera la Nasa d'au moins une décennie pour atterrir sur Mars » ! Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sciences/actualites/exploration-humaine-spacex-devancera-nasa-moins-decennie-atterrir-mars-79254/>
6. Pellerin JF, Heidmann R, Souchier A, Brisson P. Embarquement pour Mars: les défis à relever. A2C Medias; 2017. 223 p.
7. Mars [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Mars
8. cnes [Internet]. 2015 [cité 16 janv 2024]. La planète Mars. Disponible sur: <https://cnes.fr/fr/la-planete-mars>
9. Szocik K. Should and could humans go to Mars? Yes, but not now and not in the near future. Futures. 1 janv 2019;105:54-66.
10. Mars Desert Research Station [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Mars Desert Research Station. Disponible sur: <https://mdrs.marssociety.org/>
11. Analog Missions - NASA [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/analog-missions/>
12. Gage DW. BEGIN HIGH FIDELITY MARS SIMULATIONS NOW!
13. ESA human spaceflight statistics [Internet]. [cité 12 févr 2024]. Disponible sur: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/02/ESA_human_spaceflight_statistics
14. Risk of Adverse Health Outcomes and Decrements in Performance due to Inflight Medical Conditions - NASA [Internet]. 2023 [cité 19 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/directorates/esdmd/hhp/risk-of-adverse-health-outcomes-and-decrements-in-performance-due-to-inflight-medical-conditions/>
15. Biomedical Engineering for Exploration Space Technology - NASA [Internet]. 2023 [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/directorates/esdmd/hhp/biomedical-engineering-for-exploration-space-technology-2/>
16. Tooth Extraction Practice - NASA [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Disponible sur:

<https://www.nasa.gov/image-article/tooth-extraction-practice/>

17. Deutsch WM. Dental Events during Periods of Isolation in the U.S. Submarine Force. *Mil Med.* 1 janv 2008;173(suppl_1):29-37.
18. Gunepin M, Derache F, Dychter D.D.S L, Risso JJ. Missions spatiales habitées : les implications dentaires. *Inf Dent.* 20 juill 2016;98.
19. Gunepin M, F D, Dychter D.D.S L, D R. Les missions spatiales habitées, un défi pour la dentisterie du 21ème siècle. *Inf Dent.* 1 janv 2012;94:10-4.
20. Rai B, Kaur J. The history and importance of aeronautic dentistry. *J Oral Sci.* 2011;53(2):143-6.
21. Rosado, Helena Isabel Venancio. Effects of simulated microgravity on the virulence properties of the opportunistic bacterial pathogen *Staphylococcus aureus* - ProQuest [Internet]. [cité 19 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.proquest.com/openview/bd73708617f0f24696234389051e8542/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366>
22. Collins Francis. Odontologie spatiale et missions interplanétaires: apport de la télémédecine bucco-dentaire. 2018.
23. Simon P, Williatte Pellitteri L. Le décret français de télémédecine : une garantie pour les médecins. *Eur Res Telemed Rech Eur En Télémédecine.* 1 juin 2012;1(2):70-5.
24. Wong JY, Pfahnl AC. 3D Printed Surgical Instruments Evaluated by a Simulated Crew of a Mars Mission. *Aerosp Med Hum Perform.* sept 2016;87(9):806-10.
25. canadienne A spatiale. Agence spatiale canadienne. 2020 [cité 22 janv 2024]. Planète Mars. Disponible sur: <https://www.asc-csa.gc.ca/fra/astronomie/systeme-solaire/mars.asp>
26. New concept may enhance Earth-Mars communication [Internet]. [cité 22 janv 2024]. Disponible sur: https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/New_concept_may_enhance_Earth-Mars_communication
27. IAC-18-A1.4.18.pdf [Internet]. [cité 19 janv 2024]. Disponible sur: <https://spacearchitect.org/pubs/IAC-18-A1.4.18.pdf>
28. 373665main_nasa-sp-2009-566.pdf [Internet]. [cité 16 janv 2024]. Disponible sur: https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/09/373665main_nasa-sp-2009-566.pdf
29. Lloro V, Giovannoni LM, Lozano-de Luaces V, Lloro I, Manzanares MC. Is oral health affected in long period space missions only by microgravity? A systematic review. *Acta Astronaut.* 1 févr 2020;167:343-50.
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. Rai B, Kaur J. Mental and Physical Workload, Salivary Stress Biomarkers and Taste Perception: Mars Desert Research Station Expedition. *North Am J Med Sci.* nov 2012;4(11):577-81.
32. Vasiliou A, Shankardass K, Nisenbaum R, Quiñonez C. Current stress and poor oral health. *BMC Oral Health.* 2 sept 2016;16(1):88.
33. Gondivkar SM, Gadbail AR, Gondivkar RS, Sarode SC, Sarode GS, Patil S, et al. Nutrition and oral health. *Dis Mon.* 1 juin 2019;65(6):147-54.
34. Bacci G, Mengoni A, Emiliani G, Chiellini C, Cipriani EG, Bianconi G, et al. Defining the resilience of the human salivary microbiota by a 520-day longitudinal study in a confined environment: the Mars500 mission. *Microbiome.* 30 juin 2021;9(1):152.
35. Kawaguchi Y, Kim J bai, Phantumvanit P, Zhang B, Bahar A, Watanabe T, et al. *Asian Academy of Preventive Dentistry.* 2017;13.

36. Zaitso T, Ohta T, Ohshima H, Mukai C. The Importance and Necessity of Space Dentistry. *Trans Jpn Soc Aeronaut SPACE Sci Aerosp Technol Jpn.* 2014;12(ists29):Tp_7-Tp_9.
37. Utilisation du fluor dans la prevention de la carie dentaire avant l'age de 18 ans. *J Pédiatrie Puériculture.* juill 2009;22(4-5):235-40.
38. Morning Routine in Space - NASA [Internet]. 2015 [cité 29 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/general/morning-routine-in-space/>
39. odontogramme. In: Wiktionnaire, le dictionnaire libre [Internet]. 2023 [cité 4 janv 2024]. Disponible sur: <https://fr.wiktionary.org/w/index.php?title=odontogramme&oldid=32746603>
40. Zhai Q, Dong Z, Wang W, Li B, Jin Y. Dental stem cell and dental tissue regeneration. *Front Med.* 1 avr 2019;13(2):152-9.
41. Hicks J, Garcia-Godoy F, Flaitz C. Biological factors in dental caries enamel structure and the caries process in the dynamic process of demineralization and remineralization (part 2). *J Clin Pediatr Dent.* 19 juin 2008;28(2):119-24.
42. Wilson M, Wilson PJK. Tooth Decay. In: Wilson M, Wilson PJK, éditeurs. *Close Encounters of the Microbial Kind: Everything You Need to Know About Common Infections* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [cité 5 févr 2024]. p. 273-91. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-030-56978-5_20
43. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. *The Lancet.* 6 janv 2007;369(9555):51-9.
44. In-Flight Medical Incidents in the NASA-Mir Program: Ingenta Connect [Internet]. [cité 5 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.ingentaconnect.com/content/asma/asem/2005/00000076/00000007/art00014>
45. Jablonski-Momeni A, Ricketts DNJ, Rolfsen S, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Stachniss V, et al. Performance of laser fluorescence at tooth surface and histological section. *Lasers Med Sci.* 1 mars 2011;26(2):171-8.
46. Kühnisch J, Bücher K, Henschel V, Hickel R. Reproducibility of DIAGNOdent 2095 and DIAGNOdent Pen measurements: results from an in vitro study on occlusal sites. *Eur J Oral Sci.* 2007;115(3):206-11.
47. Rosan B, Lamont RJ. Dental plaque formation. *Microbes Infect.* 1 nov 2000;2(13):1599-607.
48. Gallagher A, Sowinski J, Bowman J, Barrett K, Lowe S, Patel K, et al. The Effect of Brushing Time and Dentifrice on Dental Plaque Removal in vivo. *Am Dent Hyg Assoc.* 1 juin 2009;83(3):111-6.
49. Cotterell N, Buffel T, Phillipson C. Preventing social isolation in older people. *Maturitas.* 1 juill 2018;113:80-4.
50. Løe H. Oral hygiene in the prevention of caries and periodontal disease. *Int Dent J.* 2000;50(3):129-39.
51. Fiorellini JP, Kao DWK, Kim DM, Uzel NG. Anatomy of the Periodontium. In: Carranza's *Clinical Periodontology* [Internet]. Elsevier; 2012 [cité 5 févr 2024]. p. 12-27.e12. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781437704167000020>
52. Gronwald BJ, Kijak K, Jezierska K, Gronwald HA, Kosko K, Matuszczak M, et al. Influence of Freeze-Dried Diet on Oral Hygiene Indicators in Strict Isolation Condition of an Analog Space Mission. *Int J Environ Res Public Health.* janv 2022;19(3):1367.
53. Greene JG, Vermillion JR. The Simplified Oral Hygiene Index. *J Am Dent Assoc.* 1 janv 1964;68(1):7-13.

54. Benn A, Thomson W. Saliva: an overview. *N Z Dent J.* 1 juin 2014;110:92-6.
55. PH | Definition, Uses, & Facts | Britannica [Internet]. 2024 [cité 5 févr 2024]. Disponible sur: <https://www.britannica.com/science/pH>
56. Hans R, Thomas S, Garla B, Dagli RJ, Hans MK. Effect of Various Sugary Beverages on Salivary pH, Flow Rate, and Oral Clearance Rate amongst Adults. Segal M, éditeur. *Scientifica.* 8 mars 2016;2016:5027283.
57. Baliga S, Muglikar S, Kale R. Salivary pH: A diagnostic biomarker. *J Indian Soc Periodontol.* 2013;17(4):461-5.
58. Zhou J, Jiang N, Wang Z, Li L, Zhang J, Ma R, et al. Influences of pH and Iron Concentration on the Salivary Microbiome in Individual Humans with and without Caries. *Appl Environ Microbiol.* févr 2017;83(4):e02412-16.
59. Singh R. Mission Mars: A Dentist's Perspective. *J Br Interplanet Soc.* 11 avr 2016;68:393-9.
60. Gendron R, Grenier D, Maheu-Robert LF. The oral cavity as a reservoir of bacterial pathogens for focal infections. *Microbes Infect.* 1 juill 2000;2(8):897-906.
61. Darveau RP, Hajishengallis G, Curtis MA. *Porphyromonas gingivalis* as a Potential Community Activist for Disease. *J Dent Res.* 1 sept 2012;91(9):816-20.
62. Le courrier du dentiste [Internet]. 2000 [cité 6 févr 2024]. L'actinobacillus actinomycetemcomitans et maladies parodontales | Dossiers du mois. Disponible sur: <https://www.lecourrierdudentiste.com/dossiers-du-mois/lactinobacillus-actinomycetemcomitans-et-maladies-parodontales.html>
63. Cameron SJS, Edwards A, Lambert RJ, Stroud M, Mur LAJ. Participants in the Trans-Antarctic Winter Traverse Expedition Showed Increased Bacterial Load and Diversity in Saliva but Maintained Individual Differences within Stool Microbiota and Across Metabolite Fingerprints. *Int J Mol Sci.* janv 2023;24(5):4850.
64. Leray B. Parafonctions orofaciales: diagnostic, éducation thérapeutique et réhabilitation, le point en 2019.
65. Manfredini D, Winocur E, Guarda-Nardini L, Paesani D, Lobbezoo F. Epidemiology of Bruxism in Adults: A Systematic Review of the Literature. *J Orofac Pain.* 2013;27(2):99-110.
66. Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros AG, Kato T, Koyano K, Lavigne GJ, et al. Bruxism defined and graded: an international consensus. *J Oral Rehabil.* 2013;40(1):2-4.
67. Guillot M. Le bruxisme en pratique clinique odontologique: évaluation des pratiques professionnelles.
68. 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 févr 2007;78(2):137-9.
69. de Kanter RJAM, Battistuzzi PGFCM, Truin GJ. Temporomandibular Disorders: "Occlusion" Matters! *Pain Res Manag.* 15 mai 2018;2018:e8746858.
70. Manuels MSD pour le grand public [Internet]. [cité 4 janv 2024]. Troubles et dysfonctions temporo-mandibulaires - Troubles bucco-dentaires. Disponible sur: <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-bucco-dentaires/troubles-et-dysfonctions-temporo-mandibulaires/troubles-et-dysfonctions-temporo-mandibulaires>
71. Bui H. Thérapeutiques du bruxisme: une approche pluridisciplinaire.
72. Cordonnier É. L'influence de l'occlusion dentaire sur les performances sportives.
73. Picart P. Occlusion dentaire, posture et performances sportives.
74. Milani RS, De Perièrè DD, Lapeyre L, Pourreyron L. Relationship Between Dental Occlusion and Posture. *CRANIO®.* 1 avr 2000;18(2):127-34.

75. Stevens M, Keyhan SO, Ghasemi S, Fallahi HR, Akbarnia S, Dashti M, et al. Does microgravity effect on oral and maxillofacial region? *Int J Astrobiol.* oct 2020;19(5):406-12.
76. Destruhaut F, Rignon-Bret C, Dubuc A, Pomar P, Hennequin A, Combadaou JC, et al. Surface electromyography and mandibular motion recording input in prosthetic rehabilitation of segmental mandibulectomy: The MAC2 protocol. *Int J Maxillofac Prosthet.* 8 mars 2022;4:47-54.
77. Carrière M, Prudentos JB, Lecigne A, Laran A, Nguyen CT, Destruhaut F, et al. Digital optimization of teeth setup in an edentulous patient with partial glossectomy: A case report. *J Prosthodont.* 2023;32(6):461-8.
78. DESTRUHAUT F, COMBADAOU JC, PARIS JC. OCCLUSION NEURO-MUSCULAIRE, Cdp, Guide clinique. 2024.
79. Galea B. Phénotype musculo-articulaire et buccal des patients atteints de sclérodémie systémique: étude préliminaire [Thèse d'exercice]. [Toulouse]. Faculté de chirurgie dentaire (1963-2017, France): Université Paul Sabatier; 2022.
80. Hamasaki T, Evans SR, Asakura K. Design, data monitoring, and analysis of clinical trials with co-primary endpoints: A review. *J Biopharm Stat.* 2 janv 2018;28(1):28-51.
81. POMPIDOU A. L'Ethique de la politique spatiale - UNESCO Bibliothèque Numérique [Internet]. 2000 [cité 1 mars 2024]. Disponible sur: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000120681_fre
82. IASB [Internet]. [cité 29 janv 2024]. Mars, principales caractéristiques de la planète rouge. Disponible sur: <https://www.aeronomie.be/index.php/fr/encyclopedie/mars-principales-caracteristiques-planete-rouge>
83. The Human Body in Space - NASA [Internet]. 2021 [cité 29 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/humans-in-space/the-human-body-in-space/>
84. Tripathi RK, Nealy JE. Mars Radiation Risk Assessment and Shielding Design for Long-Term Exposure to Ionizing Space Radiation. In: 2008 IEEE Aerospace Conference [Internet]. Big Sky, MT, USA: IEEE; 2008 [cité 29 janv 2024]. p. 1-9. Disponible sur: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4526513/>
85. NASA Selects Participants for One-Year Mars Analog Mission - NASA [Internet]. 2023 [cité 29 janv 2024]. Disponible sur: <https://www.nasa.gov/missions/analog-field-testing/chapea/nasa-selects-participants-for-one-year-mars-analog-mission/>

PROTOCOLE DE RECHERCHE BUCCO DENTAIRE POUR UNE MISSION ANALOGUE MARTIENNE

RESUME : Dans un contexte de course à l'espace pour envoyer les premiers humains sur Mars, une « mission analogue » d'un mois est réalisée par un groupe de 7 « astronautes analogues » de l'ISAE-SUPAERO dans le laboratoire de recherche « Mars Desert Research Station » aux États-Unis. D'après la NASA, la santé orale des astronautes lors d'une mission martienne sera une donnée critique et pourtant la littérature est actuellement très peu fournie. Ce travail de thèse d'exercice fait émerger un protocole préliminaire d'étude pour détecter et anticiper des changements physiopathologiques à l'échelle de la sphère oro-faciale qui pourraient survenir lors d'une mission analogue martienne, en préparation aux futures missions martiennes réelles.

ORAL RESEARCH PROTOCOL FOR A MARTIAN ANALOG MISSION

ABSTRACT : In the context of the space race to send the first humans to Mars, a one-month “analog mission” is carried out by a group of 7 “analog astronauts” from ISAE-SUPAERO in the “Mars Desert Research Station” in the United States. According to NASA, the oral health of astronauts during a Mars mission will be critical data and yet the literature is currently very sparse. This exercise thesis work brings out a preliminary study protocol to detect and anticipate physiopathological changes at the scale of the orofacial sphere which could occur during an analog Martian mission, in preparation for future real Martian missions.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : “Odontologie spatiale”, “Mission analogue martienne”, “Mars”, “MDRS”, “Santé orale”, “Santé bucco-dentaire”, “Sphère oro-faciale”, “ISAE-SUPAERO”.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de santé – Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse
Cedex 09

DIRECTEUR DE THESE : Pr Florent DESTRUHAUT