UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2020

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Marine BOUDJEMAA

le 10 Novembre 2020

Astrocclusie

Hybridation et optimisation en médecine orale spatiale

Directeur de thèse : Dr Florent Destruhaut

JURY

Président : Pr Philippe Pomar

1er assesseur : Dr Florent Destruhaut

2ème assesseur : Dr Antonin Hennequin

3ème assesseur : Dr Jean Champion

UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2020

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Marine BOUDJEMAA

le 10 Novembre 2020

Astrocclusie
Hybridation et optimisation en médecine orale spatiale

Directeur de thèse : Dr Florent Destruhaut

JURY

Président : Pr Philippe Pomar

1er assesseur : Dr Florent Destruhaut

2ème assesseur : Dr Antonin Hennequin

3ème assesseur : Dr Jean Champion

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Faculté de Chirurgie Dentaire

DIRECTION

DOYEN
M. Philippe POMAR

ASSESSEUR DU DOYEN
Mme Sabine JONIOT
Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

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*)

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
Mme Cathy NABET

DIRECTRICE ADMINISTRATIVE
Mme Muriel VERDAGUER

HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES
M. Jean LAGARRIGUE +
M. Jean-Philippe LODTER +
M. Gérard PALOUDIER
M. Michel SIXOU
M. Henri SOULET

ÉMÉRITAT

M. Damien DURAN
Mme Geneviève GRÉGOIRE
M. Gérard PALOUDIER

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 Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY
Assistants : Mme Alice BROUTIN, Mme Marion GUY-VERGER
Adjoint d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, Mme Christine MARCHAL, M. Maxime ROTENBERG
Assistants : Mme Isabelle ARAGON, Mme Anaïs DIVOL

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

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL
Maître de Conférences : M. VERGNES Jean-Noël
Assistant : M. Julien ROSENZWEIG
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARO, Mme FOURNIER Géromine, M. Fabien BERLIOZ

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Bruno COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : M. Pierre BARTHET, Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL
Assistants: Mme. Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN
Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE , Mme Myriam KADDECH

CHIRURGIE ORALE

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

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université :	M. Philippe KEMOUN
Maîtres de Conférences :	M. Pierre-Pascal POULET, M Vincent BLASCO-BAQUE
Assistants :	M. Antoine TRIGALOU, Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme. Cécile BLANC
Adjoints d'Enseignement :	M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Serge ARMAND)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université :	M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences :	M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants :	Mme Pauline PECQUEUR, M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE M. Dorian BONNAFOUS, Mme. Manon SAUCOURT
Adjoints d'Enseignement :	M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN

PROTHÈSES

Professeurs d'Université :	M. Serge ARMAND, M. Philippe POMAR
Maîtres de Conférences :	M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT
Assistants:	M. Victor EMONET-DENAND, M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, Mme Caroline DE BATAILLE, Mme Margaux BROUTIN
Adjoints d'Enseignement :	M. Antoine GALIBOURG, M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Laurent GINESTE, M. Olivier LE GAC, M. Louis Philippe GAYRARD, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA

FONCTIONS-DYSFONCTIONS , IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences :	Mme Sabine JONIOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT
Assistants :	M. Thibault CANCEILL, M. Damien OSTROWSKI, M. Julien DELRIEU
Adjoints d'Enseignement :	M. Yasin AHMED, Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET

Mise à jour pour le 02 mars 2020

REMERCIEMENTS

À **mon Jeanjean**, nous avons à nous deux élaboré les plus grosses bêtises et les plus belles cabanes dans les arbres. De par notre complicité sans faille, tu es celui qui sait trouver les mots exacts dans les moments de doutes. Tu es mon grand frère, mon modèle et mon meilleur ami. Je suis infiniment chanceuse de t'avoir à mes côtés. A **ma Maman cœur**, tu es mon pilier au quotidien. Ton amour inconditionnel, ton soutien et tes attentions me sont infiniment précieux. Ta douceur n'enlève en rien à ta ténacité, tu es un exemple de courage. A **mon Papounet**, tu m'as toujours appris à regarder plus haut et à me battre plus fort. Tu m'inspires chaque jour par ta détermination, ta rigueur et tes qualités de cœur. L'admiration que je te porte me pousse à essayer de marcher dans tes pas. Vous trois n'avez jamais cessé de m'encourager et de croire en moi, je vous dois tout. J'espère vous rendre fiers et honorer ce que vous m'avez apporté depuis ces 25 années. *Je vous dédie cette thèse.*

Aux **Leroux**, je ne vous remercierai jamais assez pour l'accueil que vous m'avez réservée dans la famille. Vos multiples attentions, vos encouragements et votre bonne humeur communicative m'ont portée dans tous mes accomplissements professionnels comme personnels, merci pour tout.

A **Aurore**, bientôt 10 ans que tu es mon acolyte de chaque instant. A tous nos moments à refaire le monde sous les étoiles et à notre complicité dès les premiers instants. Tu m'impressionnes chaque jour par ta volonté de réussir. Milles choses à dire mais tu sais déjà tout, je ne connais qu'un seul mot capable de nous résumer : « Saladier ».

A **mes copains d'études**. **Abi**, réunies sur les bancs de la fac, tu n'as jamais cessé de me supporter et d'illuminer mes journées par ta positivé. Du premier QCM au premier rempla, nous avons dépassé chaque étape ensemble. La binôme rêvée, notre binôme de choc. Depuis le 15 juillet 1995, et ce n'est que le début**. Athina et Johanna**, la beauté de notre amitié réside dans notre complémentarité. Je vous remercie tout autant pour votre brin de folie que pour vos paroles rassurantes et votre grand cœur**. Lucie et Lisa-Marie**, refaire le monde sur les hauteurs de Pech-David ont été les pauses essentielles à mon équilibre, vous avez été une bulle d'oxygène dans ces études. **Sophie**, ta sincérité et ton humanité ont fait de toi mon alliée du quotidien (et de confinement). Tu es de ces personnes qui vous tirent vers le haut, n'oublies jamais ta valeur. **Laura**, ma sportive pétillante, merci infiniment pour ta prévenance et ton sourire communicatif. **Laëtitia**, mon coup de foudre, aussi brillante qu'attentionnée, ne change jamais. **Linda**, véritable petite étoile, continue de briller par ta bienveillance et ton intelligence. **Charles,** merci de ton soutien, ta gentillesse et ta disponibilité. **Chahrazed**, nos éclats de rire ont été les moments précieux qui ont embellis mes journées.

Aux **Dr. Bertini et Dr. Chabreron**. **Benoit**, tu m'as naturellement accueilli à bras ouverts et je te suis extrêmement reconnaissante de ton enseignement, ta disponibilité, ton humour et la confiance que tu m'as accordée. **Olivier**, tes blagues et ta gentillesse vont de pair avec la passion et la rigueur qui anime ta pratique. Admirative de votre travail, je suis honorée d'avoir pu exercer à vos côtés, vous avez su réveiller en moi l'envie d'apprendre toujours plus. Aux **Dr. Guittard, Dr. Bonnet, Dr. Fourquet** pour m'avoir confié leurs patients. Au **Cabinet de Laloubère** pour m'avoir si facilement intégré dans son équipe. A **Mélody, Fiona, Cindy, Solène, Corinne et Lindou** pour m'avoir épaulée comme des petites mamans.

Et enfin **à Xavier**, tu es arrivé dans ma vie par hasard pour y rester comme une évidence. Par tes qualités humaines et d'écoute, tu as su m'apaiser et tu as fait de moi une personne meilleure. Tu m'épaules et me complètes, m'accompagnes et me soutiens. Nous ne sommes qu'au début d'un doux voyage que j'ai hâte de poursuivre à tes côtés. Je t'aime.

A notre Président du jury,

Monsieur le Professeur Philippe Pomar

- Doyen de la faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse
- Professeur des Universités
- Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Lauréat de l'Institut de Stomatologie et Chirurgie Maxillo-Faciale de la Salpêtrière
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.)
- Officier dans l'Ordre des Palmes Académiques

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

Je vous suis infiniment reconnaissante pour votre grande disponibilité, votre écoute, pour l'enseignement que vous nous avez prodigué avec humilité et bienveillance.

Veuillez trouver, par la réalisation de ce travail, l'expression de ma plus haute considération et de mon profond respect.

A notre directeur et jury de thèse,

Monsieur le Docteur Florent Destruhaut

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

Je tenais à vous remercier de l'honneur que vous me faites en dirigeant cette thèse. Vous m'avez fait confiance et j'espère avoir été à la hauteur.

A travers vos cours magistraux et votre pratique clinique, vous avez su transmettre vos connaissances et votre passion du métier en alliant bonne humeur, humanité et rigueur, et ce toujours dans la valorisation de l'étudiant.

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

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Antonin Hennequin

- Diplôme d'état de Docteur en Chirurgie dentaire - UPS Toulouse III
- Lauréat de l'Université Université Paul Sabatier Toulouse III
- Assistant Hospitalo-Universitaire - Faculté d'Odontologie de Toulouse
- DU de Prothèse et Occlusodontologie, Université Toulouse III
- DU de Recherche Clinique en Odontologie, Université Toulouse III
- CES de Prothèse Conjointe - classement : 3ème national
- CES de Biologie de la Bouche
- Co-Responsable du DU d'Occlusodontologie et de Réhabilitation de l'Appareil Manducateur

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse.

L'enseignement rigoureux que vous nous avez transmis avec passion et clarté durant ces études a éveillé mon intérêt pour l'occlusodontologie.

Des remerciements sincères pour votre accompagnement précieux, vos conseils avisés et votre regard pertinent sur ce travail.

Veuillez recevoir l'expression de mon plus grand respect et de ma reconnaissance.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Jean Champion

- Maître de Conférences des Universités
- Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur d'Etat en Odontologie
- DU Implantologie de la Faculté de Chirurgie dentaire de Marseille
- Diplôme d'Implantologie Clinique de l'Institut Bränemark – Göteborg (Suède)
- Vice-Président du Conseil National des Universités (section : 58)
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier
- Colonel de réserve citoyenne du service de santé des armées (CDCRC)

Je vous remercie d'avoir accepté d'être membre de ce jury de thèse.

Travailler avec vous durant ces années d'études, tant en travaux pratiques qu'en tant que stagiaire dans votre cabinet, a été formateur et un réel plaisir. Je retiendrai votre humanité, votre altruisme et votre pédagogie.

Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect et de ma reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION 12
I. OCCLUSION, OCCLUSODONTOLOGIE ET POSTUROLOGIE : ETAT DES CONNAISSANCES 13
1.1. DEFINITIONS 13
1.2. OCCLUSION DENTAIRE ET POSTURE 14
1.3. OCCLUSION DENTAIRE ET PERFORMANCES PHYSIQUES 15
1.4. OCCLUSION DENTAIRE ET OCULOCEPHALOGYRIE 17
II. LE PROJET ASTROCCLUSIE 19
2.1. OBJECTIFS SCIENTIFIQUES 19
2.2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'EXPERIENCE 19
2.2.1. Expérimentation n°1 exécutée au sol répondant à l'objectif 1 19
2.2.1.1. Matériel nécessaire : 19
2.2.1.2. Protocole de tests : 21
2.2.2. Expérimentation n°2 exécutée au sol répondant à l'objectif 2 22
2.2.2.1. Matériel nécessaire : 22
2.2.2.2. Protocole de tests : 23
2.2.3 - Expérimentation n°3 exécutée dans l'ISS répondant à l'objectif 3 23
2.2.3.1. Matériel à monter : 23
2.2.3.2. Matériel déjà monté : 23
2.2.3.3. Matériel revenant au sol : 25
2.2.3.4. Opération du spationaute : 25
2.2.3.5. Données à descendre : 25
2.2.3.6. Autre : 25
2.2.3.7. Protocole de test : 25
2.2.4. Expérimentation n°4 exécutée au sol répondant à l'objectif 4 26
2.2.4.1. Matériel nécessaire : 26
2.2.4.2. Protocole de test : 26
2.2.5. Expérimentation n°5 (étude complémentaire) exécutée au sol avant la mission, dans l'ISS durant la mission et au sol après la mission répondant à l'objectif 5 27
2.2.5.1. Matériel : 27
2.2.5.2. Protocole : 27
2.3. RESULTATS 27
2.4. PERTINENCE DE L'EXPERIENCE 28
2.5. DEVELOPPEMENT TECHNIQUE 29
2.6. ANALYSE DES RISQUES 29
III. RECAPITUALTIF 30
IV. L'EQUIPE D'ASTROCCLUSIONAUTES 31
CONCLUSION 32

ANNEXES 33
TABLE DES ABREVIATIONS.....34
TABLES DES FIGURES 35
BIBLIOGRAPHIE 36

INTRODUCTION

L'environnement spatial est un milieu mettant à l'épreuve le corps humain, compte tenu de ses nombreuses spécificités uniques comme la microgravité, le manque de repères nycthéméraux et de verticalité, le stress physique et psychique. Cet environnement hostile entraîne des modifications physiologiques importantes pouvant affecter, directement ou indirectement, la santé générale des spationautes. Le corps humain y subit un stress physique intense et un vieillissement accéléré, entraînant entre autres une dégénérescence musculaire, l'augmentation du risque infectieux et une diminution accrue de l'acuité visuelle.

C'est dans une quête de savoir et de réponses que nous proposons ASTROCCLUSIE, un projet axé sur l'optimisation du corps humain à travers la modification et l'étude de certains paramètres de la cavité buccale. L'axe d'investigation d'ASTROCCLUSIE est avant tout orienté sur l'occlusion dentaire neuromusculaire en état d'impesanteur.

Notre projet, basé sur les concepts d'étude de type « N of one clinical trial » a pour objectif principal l'étude de la modification de l'occlusion dentaire, associée à son impact sur la posture humaine afin d'étudier la neurophysiologie musculaire en état d'impesanteur. Nous proposons ainsi de faire porter à un spationaute lors de sa mission dans l'ISS un jeu d'orthèses occlusales pour modifier son occlusion dentaire, et d'en mesurer les impacts sur la posture, la force, le tonus musculaire pour développer des stratégies d'optimisation par la suite. Parallèlement, afin de vérifier que le dispositif occlusal n'interfère pas avec l'équilibre de l'écosystème buccal et n'entraîne pas de dysbiose, le projet propose une étude complémentaire sur la signature du microbiome oral. Enfin, nos résultats pourront également s'ouvrir sur les connaissances de l'influence de l'occlusion dentaire au niveau du jeu oculomoteur.

I. OCCLUSION, OCCLUSODONTOLOGIE ET POSTUROLOGIE: ETAT DES CONNAISSANCES

1.1. DEFINITIONS

On peut définir l'**occlusodontie** comme la branche de la médecine dentaire qui permet de rétablir une bonne fonction au sein des différents composants de l'appareil stomatognathique. Elle comprend donc l'ensemble des structures oro-faciales, musculaires et articulaires, ainsi que les structures associées dentaires et non dentaires. L**'occlusodontologie** est donc une discipline visant l'étude, l'ajustage et la reconstruction des contacts réflexes entre les arcades dentaires maxillaires et mandibulaires. Elle concerne donc aussi bien l'occlusion dentaire que la posture cervico-céphalique sous l'effet de la gravité terrestre.

La **posturologie** est une discipline qui s'intéresse au maintien de la station debout du corps humain. C'est une étude de la façon dont le corps occupe son volume dans le temps et dans l'espace. Le corps humain tend toujours vers une efficacité de la tâche à accomplir tout en dépensant un minimum d'énergie. Ce concept postural permet de maintenir l'équilibre du corps et de procurer des représentations spatiales pour nous situer dans notre environnement en statique comme en dynamique.

L**'occlusion dentaire** est définie comme un état statique qui correspond à tous les différents contacts possibles entre les dents antagonistes. On parle d'occlusion dentaire dès lors que deux dents entrent en contact. L'occlusion est la clef de voûte d'un édifice plus vaste, l'appareil manducateur, lui-même intégré dans une structure plus globale, l'individu avec ses caractéristiques biologiques et psychosociales. La modification de l'occlusion dentaire et de la position mandibulaire influe sur l'équilibre tonique postural de l'individu au travers de son système cranio-mandibulo-sacré.

Les fonctions de la sphère oro-faciale sont nombreuses. Normalisées le plus tôt possible, elles garantissent un développement normal chez l'enfant et jouent un rôle capital dans la croissance. Chez l'adulte, des fonctions oro-faciales harmonieuses, au-delà de leur rôle propre, participent à un équilibre musculaire optimal. Enfin, chez le sportif, la normalisation de l'appareil manducateur est la base de tout traitement en vue d'une harmonisation fonctionnelle et d'optimisation des performances.

Afin de mieux comprendre l'impact de l'occlusion sur la posture et les performances sportives, quelques notions sont essentielles :

L**'Occlusion d'Intercuspidation Maximale (OIM**) correspond à la position mandibulaire où le maximum de dents entre en contact. Elle participe à la déglutition et permet d'absorber les contraintes reçues lors des contacts entre les arcades antagonistes. C'est la référence vers laquelle on se dirige de façon réflexe après un premier contact afin de retrouver son équilibre. Cette OIM conditionnera la position de notre mandibule, au niveau dentaire, articulaire, osseux, ainsi que musculaire. Lors d'un travail de force, durant un effort sportif, ou encore lors de parafonctions (bruxisme du sommeil et de l'éveil), le temps de contact entre les deux arcades est nettement augmenté.

La **Dimension Verticale d'Occlusion (DVO)** est la hauteur de l'étage inférieur de la face en OIM (allant du point sous-nasal au bord inférieur du menton). Elle est à différencier de la **Dimension Verticale de Repos Physiologique (DVRP)** qui correspond à la hauteur de l'étage inférieur lorsque la mandibule se trouve en position de repos. Elle tient alors compte de l'**Espace Libre d'Inocclusion de Repos Physiologique (ELIRP)** qui se situe entre les dents antagonistes et qui est conditionné par le tonus musculaire des muscles masticateurs et des muscles antagonistes. DVRP = DVO + ELIRP sur l'axe vertical de la face.

La **Relation Centrée Myo-Stabilisée** (RCMS) représente la position de référence articulaire indépendamment de la situation dentaire. Elle représente la situation la plus haute de coaptation du complexe condylo-discal contre l'éminence articulaire de l'os temporal. Elle est simultanée et transversalement stabilisée, reproductible dans un temps donné et une posture donnée, indépendante des positions dentaires ou de la dimension verticale. La différence physiologique entre l'OIM et la RCMS est comprise entre 0 et 3mm dans le sens antéro-postérieur et 0 et 1mm dans le sens transversal. Elle est utilisée cliniquement lorsque l'on souhaite une position mandibulaire, reproductible, indépendante des dents.

1.2. OCCLUSION DENTAIRE ET POSTURE

Les chaînes musculaires ont un rôle essentiel dans **le système postural** et permettent la mobilisation des structures osseuses par les muscles striés. Les grands mouvements de l'appareil locomoteur sont la somation de chaque mouvement faisant intervenir les muscles organisés en chaînes musculaires, du crâne aux extrémités de chaque membre. Le déséquilibre fonctionnel d'un étage provoque une réaction en chaîne sur les autres segments corporels.

La **station orthostatique** est définie par les positions relatives de chaque partie du corps en relation avec le segment du corps adjacent et en relation avec le corps dans son ensemble. Ce système postural, sous dépendance du système nerveux central et périphérique, reçoit des afférences **des capteurs sensori-moteurs :** les capteurs oculaires, les capteurs vestibulaires, les capteurs mandibulaires, les capteurs articulaires, les capteurs cutanés et les capteurs podaux, en particulier en situation de pesanteur.

Lorsqu'il existe un dysfonctionnement au niveau de l'appareil manducateur, on observe ainsi des répercussions régionales voire générales de la posture. La position de repos de la mandibule est la résultante d'une coordination musculaire entre les muscles cervicaux postérieurs et leurs forces antérieures. L'équilibre de la tête joue lui-même un rôle important dans l'harmonie des chaînes musculaires intervenant sur l'équilibre statique général.

De nombreux travaux tendent à évaluer l'importance de l'occlusion dentaire sur la régulation du système postural global chez des sujets sains, le lien entre certaines malocclusions dentaires et des dysrégulations posturales chez des patients consultant pour des troubles de l'appareil manducateur, et les répercussions posturales de prises en charge d'optimisation occlusale, en particulier chez des sportifs de haut niveau.

En 2003, les travaux de BRACCO et *al*. ont montré qu'un déséquilibre de toute la chaîne posturale musculaire serait provoqué par une altération des afférences trigéminales et de la proprioception. L'effet des contacts dento-dentaires provoquerait une réaction en chaîne et une modification de la posture. (1)

En 2007, SAKAGUCHI a voulu étudier l'effet du changement de position de la mandibule sur la posture du corps et réciproquement. Cette étude expérimentale sur 45 sujets asymptomatiques manipulant différentes positions mandibulaires et différentes postures conclut que le changement de position de la mandibule affecte la posture du corps. Inversement, le changement de posture affecte la position mandibulaire. (2)

En 2009, TARDIEU et *al*. ont cherché à comprendre l'effet de l'occlusion dentaire sur l'équilibre postural en condition statique et dynamique, en présence ou en absence de repère visuel. Cette étude montre à partir de 10 patients sains que l'information sensorielle liée à l'occlusion dentaire interfère avec des tâches posturales complexes et augmenterait lors de la diminution des autres afférences. (3)

1.3. OCCLUSION DENTAIRE ET PERFORMANCES PHYSIQUES

L'occlusion intervient dans un système hautement adaptatif. Les éléments de l'appareil manducateur tels que les articulations temporo-mandibulaires, la langue et les muscles masticateurs sont conçus pour s'adapter afin de pallier notamment les défauts de positionnements dentaires et décalages maxillaires. Cependant, l'adaptation peut être limitée et son seuil dépassé peut être à l'origine d'une situation pathologique. Chaque personne possède son propre seuil adaptatif, au-delà duquel la compensation n'est plus possible, et où la pathologie se déclare. Les co-facteurs impliqués sont nombreux : expérience de la maladie, antécédents médicaux, âge du sujet, genre, statut génétique, critères physiologiques, psychologiques, émotionnels, socio-culturels du patient. Certains co-facteurs créent les conditions de la pathologie à venir, d'autres la déclenche, enfin d'autres l'entretiennent.

Le modèle du sportif de haut niveau est différent puisque son corps est souvent très entraîné, qu'il est capable de supporter un effort puissant ou prolongé, qu'il est habitué au stress et à la gestion de celui-ci, qu'il peut parfois pousser son corps jusqu'à la rupture dans une recherche de performance par une utilisation extrême de ses capacités physiques et mentales. Dans cette optique, le moindre gain sur une compensation peut être significatif.

Juste avant ou lors d'un effort intense, les dents se serrent en OIM. La mandibule se stabilise et les chaînes musculaires s'équilibrent pour pouvoir fournir la contraction la plus efficace. Par ailleurs, une occlusion dentaire déséquilibrée serait susceptible d'entraîner une déviation de la mandibule et un déséquilibre postural. Ainsi, une occlusion dentaire déséquilibrée pourrait être à l'origine de contreperformances chez le sportif.

En 2000, Diaw a mis en place une étude afin de déterminer si l'occlusion dentaire pouvait influer la force physique. Sur 20 sportifs de haut niveau, pratiquants d'art martiaux de l'équipe Nationale du Sénégal, il mesure la détente verticale pour évaluer la force explosive mesurée par Vertical Jump Meter ainsi que la force de traction mesurée par dynamomètre. Les résultats ont prouvé que la détente verticale était en moyenne supérieure de 2cm en bouche fermée en comparaison avec la détente verticale en bouche ouverte.

Pour la traction, les résultats ont montré que la moyenne était de 136kg force en bouche fermée, alors qu'en bouche ouverte elle était de 128kg force. En occlusion, les sportifs qui avaient toutes leurs dents en bouche (équilibrés) avaient dans 92% des cas une détente verticale supérieure ou égale à 54cm alors que lorsqu'ils possédaient une arcade dentaire avec des dents absentes, leur détente verticale était supérieure ou égale à 54cm dans seulement 30% des cas. (4)

En 2003, FERRARIO et *al*. ont voulu objectiver la relation entre l'occlusion et la contraction des muscles du cou. Pour ce faire, ils ont étudié l'effet immédiat d'interférences occlusales asymétriques sur le schéma de contraction des muscles sterno-cléido-mastoïdiens (SCM) chez 30 sujets sains (tous les sujets avaient une denture permanente complète et saine, n'avaient aucune pathologie articulaire et musculaire). Un examen par électromyogramme de surface (EMG) de 5 secondes du SCM a été réalisé en OIM et avec une interférence unilatérale occlusale de 200 microns alternativement positionnée sur différentes dents. Pour chaque sujet, les potentiels de SCM ont été traduits en pourcentage des potentiels moyens enregistrés en dentition naturelle. Dans les tests avec interférences occlusales, la séquence de contraction des SCM était très différente que celle enregistrée en dentition naturelle. En conclusion, la modification par interposition d'une interférence d'une occlusion normale chez des jeunes sujets en bonne santé modifie leur schéma de contraction le rendant asymétrique. Chez presque tous les sujets, un schéma initialement symétrique est devenu asymétrique. (5)

En 2002, MIRRALES a réalisé une étude afin de déterminer l'effet de la variation de la dimension verticale sur l'activité électromyographique (EMG) des muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapézoïdal sur 15 sujets en bonne santé. Les résultats de cette étude sont en faveur d'une corrélation entre les différents composants du système cranio-mandibulo-sacré. (6)

En 2015, MALPEZZI et *al*. ont souhaité observer les effets d'une orthèse occlusale sur les performances physiques du sportif. Cette étude a la particularité d'avoir été réalisée sur des sportifs n'utilisant pas traditionnellement de protège-dents, mais qui pourraient malgré tout y retrouver un avantage de performance. Le but de la présente étude était d'évaluer l'influence d'un protège-dents réalisé sur mesure sur les paramètres physiologiques et performances en cyclisme sur route. Dix cyclistes formatés ont effectué un test d'effort cardiopulmonaire jusqu'à épuisement sur un ergomètre de vélo à freinage frictionnel. La force de travail, le rythme cardiaque, la consommation d'oxygène, la production de dioxyde de carbone et la ventilation au seuil de lactate, au point de compensation respiratoire et à l'exercice maximal ont été déterminés dans des conditions normales et en portant les orthèses.

Les tests ont été réalisés à une semaine d'intervalle, mais toujours aux mêmes horaires et dans les mêmes conditions d'effort. D'après les résultats, le port de l'orthèse dans des conditions normales a entraîné une augmentation significative de la force de travail au point de compensation ($p = 0,04$) et à l'exercice maximal ($p = 0,004$) mais n'a pas modifié de manière significative les autres paramètres mesurés. Le port de l'orthèse a entrainé une économie du cycliste en moyenne de 8% ($p=0,06$). Les résultats plaident en faveur d'une amélioration des performances physiques sur le travail musculaire des cyclistes. Il semblerait donc que le fait d'avoir équilibré la posture mandibulaire du cycliste ait eu un impact positif sur le résultat sportif. (7)

En 2013, Queiroz et *al*. ont voulu mettre en évidence la relation entre le port de différents types de protège-dents et la performance physique des footballeuses. L'échantillon était composé de 25 footballeuses âgées de 18 à 22 ans sans pathologie de l'appareil manducateur. Deux tests ont été réalisés : un test d'agilité (Test de Shuttle-run) et un test de capacité aérobique et VO2 (test de Cooper) avec 3 types de protège-dents. L'analyse des données a montré que le protège-dents individualisé le plus élaboré conduisait aux meilleurs résultats aux tests de capacité aérobique et de VO2 ($p < 0,05$) tous résultats confondus (même sans protège-dents). Le port d'une orthèse occlusale adaptée et équilibrée permettrait une amélioration de la performance physique. (8)

1.4. OCCLUSION DENTAIRE ET OCULOCEPHALOGYRIE

Depuis quelques années, des auteurs se penchent sur la relation entre la posture, l'occlusion dentaire et la vision.

En 1998, l'étude de SHARIFI MILANI et *al*. a mis en évidence la relation entre l'occlusion dentaire et la mise au point oculaire. Dans cette étude, les 30 sujets ont été répartis en deux groupes : un groupe expérimental qui portait une orthèse de repositionnement mandibulaire et un groupe témoin qui ne portait aucun dispositif oral. Tous les sujets ont subi les mêmes tests visuels (Tests de mise au point visuelle réalisés avec une tige Maddox et les barres prismatiques Berens, de plus de cinq mètres à 30 centimètres). Les résultats ont semblé confirmer que l'altération de l'occlusion dentaire peut induire certaines fluctuations dans la mise au point visuelle. En effet, le port de cette orthèse mandibulaire semble favoriser la concentration visuelle, mais seulement après une période de réhabilitation musculaire avec des résultats maximum au bout de 15 jours. Les effets du port de l'orthèse disparaîtraient progressivement jusqu'à retrouver l'état initial. (9)

En 2009, MATHERON étudie le lien entre la vision et la stabilité posturale en position debout non perturbée. L'étude comprenait 15 adultes jeunes (de 22 à 31 ans) sans problème de santé. L'objectif était de mesurer leur contrôle postural en leur demandant de fixer en vision binoculaire un point à 40 cm et 200 cm en situation normale, puis en modifiant leur vision en leur faisant fixer ce point à travers un prisme vertical de 2 dioptries soit au niveau de leur œil dominant, soit au niveau de leur œil non dominant. Les résultats ont montré que dans toutes situations, le fait de fixer un objet plus lointain augmentait les oscillations antéropostérieures. Cependant, elles augmenteraient dans les situations où les sujets regardent à travers un prisme vertical au niveau de l'œil non-dominant, et s'ajouteraient des oscillations latérales en plus des antéropostérieures lorsque les sujets regardent les points fixes à travers un prisme vertical au niveau de l'œil dominant. (10)

Gangloff et *al*, en 2000 se penchent dans une étude cas-témoins sur la relation entre l'occlusion dentaire et deux parties de la chaîne sensori-motrice : la proprioception et la stabilisation du regard. Les déplacements du centre de pression, lors de séries de tir sur un groupe de 36 sujets, dont la moitié est formée par des tireurs de haut niveau et l'autre moitié constitue le groupe témoin, sont étudiés et évalués.

Chaque sujet devra porter à tour de rôle 4 orthèses occlusales : en occlusion d'intercuspidation, en relation centrée, en occlusion latérale physiologique, en occlusion controlatérale. Les résultats ont mis en évidence que les athlètes et les sujets témoins enregistraient un déplacement du centre de pression minimal, et de ce fait une précision de tir maximale, lorsque leur occlusion était réglée artificiellement en Relation Centrée. D'après ces résultats, la position occlusale aurait un impact sur la position de la mandibule et ainsi la proprioception et la stabilité visuelle. L'occlusion dentaire influenceraient l'équilibre du sportif lors d'un tir de précision : une occlusion artificiellement améliorée lui procurerait un meilleur équilibre, une meilleure stabilité du regard, et donc une meilleure précision de tir. (11)

Le projet Astrocclusie a pour objectif l'étude de la posture et de l'occlusion dentaire en situation d'impesanteur où la problématique est spécifique. D'après les connaissances actuelles validées, acquises au sol d'une part, et la mise en place d'un protocole avec contrôle des co-facteurs posturaux liés à la gravité d'autre part, on peut légitimement attendre du projet Astrocclusie des avancées notables :

- ✓ **Une meilleure compréhension du fonctionnement posture/occlusion**
- ✓ **Le développement de stratégies ciblés de rééducation et d'optimisation de la performance**
- ✓ **L'incidence dans la prévention des troubles oculo-moteurs**.

II. LE PROJET ASTROCCLUSIE

2.1. OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Les astronautes présents à bord de la station spatiale internationale doivent faire plusieurs heures de sport par jour afin d'éviter de perdre trop de masse musculaire et de les maintenir en bonne santé. L'enjeu principal du projet est d'évaluer si l'occlusion dentaire peut affecter positivement ou négativement le tonus postural global en impesanteur.

Pour cela nous proposons de :

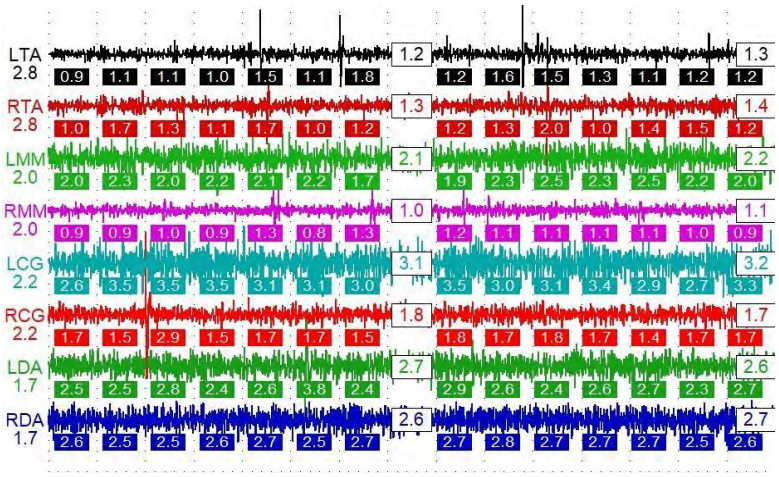
- ✓ Comprendre l'impact de l'occlusion dentaire habituelle du spationaute sur ses performances sportives lors de sa préparation au sol (objectif 1) ;
- ✓ Mieux connaître si ses performances sportives peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale fine, lors de sa préparation au sol (objectif 2) ;
- ✓ Mieux connaître si ses performances sportives peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale fine, lorsque la régulation du tonus postural global est modifiée en état d'impesanteur (objectif 3) ;
- ✓ Déterminer si la récupération physiologique peut être améliorée par le port d'une orthèse occlusale au retour de la mission (objectif 4) ;
- ✓ Envisager l'analyse du microbiote oral en état d'impesanteur (compte tenu de la colonisation bactérienne de la résine des orthèses) et étudier la mise en place d'une signature bactérienne dans un milieu aux paramètres modifiés en la comparant à celle précédant le vol et à celle suivant le retour en apesanteur (objectif 5).

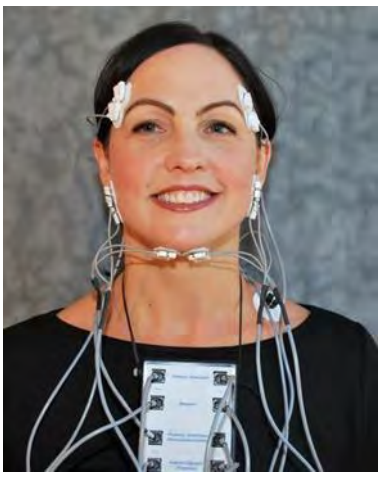
2.2. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'EXPERIENCE

2.2.1. Expérimentation n°1 exécutée au sol répondant à l'objectif 1 : comprendre l'impact de l'occlusion dentaire habituelle du spationaute sur ses performances sportives lors de la préparation au sol :

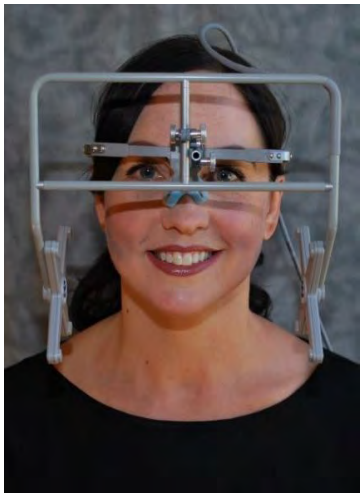
2.2.1.1. Matériel nécessaire :

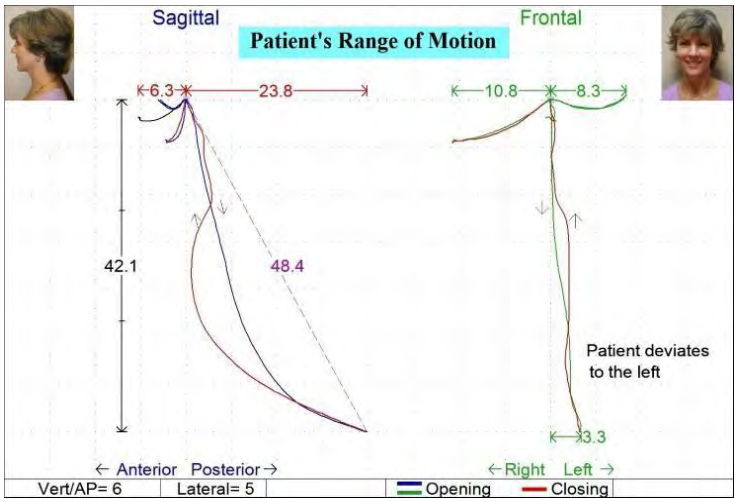
- ✓ Electromyographe de surface (K7 Evaluation System, Myotronics, Seattle, USA) (fig.1)
- ✓ Trackeur 3D de position mandibulaire (K7 Evaluation System, Myotronics) (fig.2)
- ✓ Plateforme de stabilométrie (Satel, Myotronics, Seattle, USA) □ Ergomètre (Biodex Medical System, New York USA)





Figures 1 : électromyographie de surface





Figures 2 : trackeur et simulation des mouvements mandibulaires

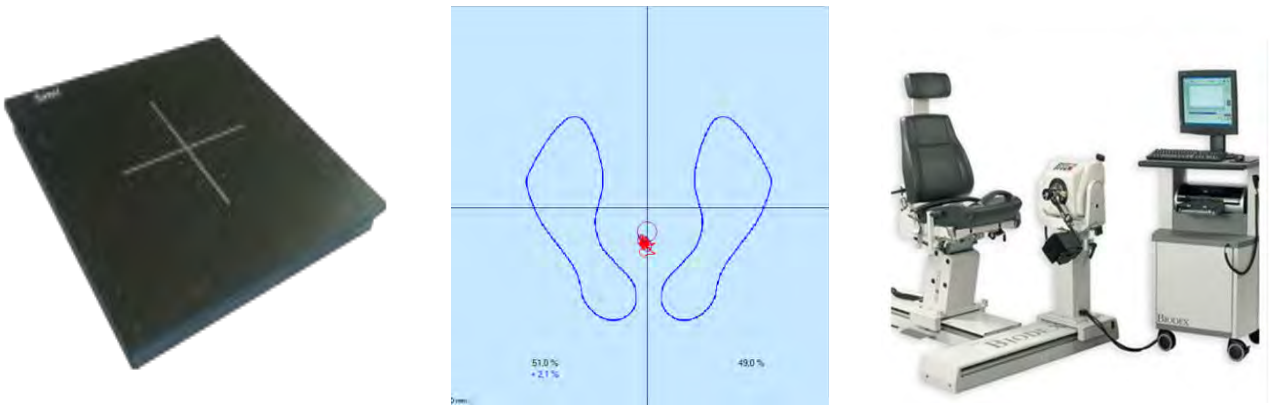
2.2.1.2. Protocole de tests :

A. Les forces musculaires des principaux muscles de l'appareil manducateur sont enregistrées au repos dents non-serrées puis dents serrées.

B. L'enveloppe des mouvements limites de la mandibule est enregistrée au repos dents non-serrées puis dents serrées, ainsi que la vitesse et l'accélération de la mandibule lors des mouvements.

C. La surface du stabilogramme et la longueur développée de la pelote des centres de pression des pieds sont mesurées au repos dents non-serrées puis dents serrées.

D. Plusieurs appareils peuvent être utilisés selon la disponibilité du matériel, notamment un ergomètre pour mesurer la force maximale isométrique développée par le quadriceps pour un angle du genou de 60°, au repos dents non-serrées puis dents serrées. (Fig.3)



Figures 3 : plateforme de stabilométrie, statokinésigramme et ergomètre

2.2.2. Expérimentation n°2 exécutée au sol répondant à l'objectif 2 : savoir si les performances sportives du spationaute peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale, lors de sa préparation au sol :

2.2.2.1. Matériel nécessaire :

- ✓ Idem expérimentation n°1
- ✓ 4 orthèses occlusales (une orthèse réglée en occlusion neuromusculaire, une orthèse d'antéposition mandibulaire, une orthèse de latéro-position mandibulaire et une orthèse comportant une sous-occlusion unilatérale) (fig.4)

Figures 4 : orthèse occlusale (vue endobuccale et dispositif médical)

Une orthèse occlusale est un dispositif médical réalisé sur mesure en résine polymérisée, s'adaptant parfaitement entre les dents du spationaute. Elle conduit par une homogénéisation de l'occlusion à une optimisation du fonctionnement des muscles soutenant l'appareil manducateur et la posture cervicocéphalique. En seconde intention, elle peut avoir des effets sur la régulation du tonus postural global.

Une orthèse occlusale réglée en occlusion neuromusculaire est réalisée en prenant en compte les paramètres issus de l'analyse occlusale, de l'électromyographie et du trackeur mandibulaire (ORT1). Une autre orthèse sur mesure peut être réalisée, simulant des défauts de l'occlusion dentaire comme une sous-occlusion unilatérale (ORT2) et ainsi qu'une orthèse d'antéposition (ORT3) et de latéro-position mandibulaire (ORT4).

Les orthèses seront réalisées grâce à la technique de CFAO. La numérisation des arcades dentaires du spationaute est réalisée grâce à une caméra à empreinte optique intra-orale. Les données obtenues sont numérisées et enregistrées.

2.2.2.2. Protocole de tests :

Il s'applique selon les mêmes modalités que l'expérimentation n°1 et peut être réalisé dans la même séquence expérimentale. Il est possible et serait même souhaitable de connaître les appareils d'exercices et de conditionnement physique utilisés de manière habituelle par les spationautes lors de leur préparation au sol, et d'étudier la possibilité de calibrer les dispositifs avec des dispositifs similaires à ceux présents dans l'ISS. Le travail demandé ne modifie pas la préparation physique habituelle qui se fait sans orthèse occlusale, et lors des sessions d'enregistrements régulières des exercices avec chacune des 4 orthèses.

2.2.3 - Expérimentation n°3 exécutée dans l'ISS répondant à l'objectif 3 : Savoir si les performances sportives du spationaute peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale, lorsque la régulation du tonus postural global est modifiée en état d'impesanteur :

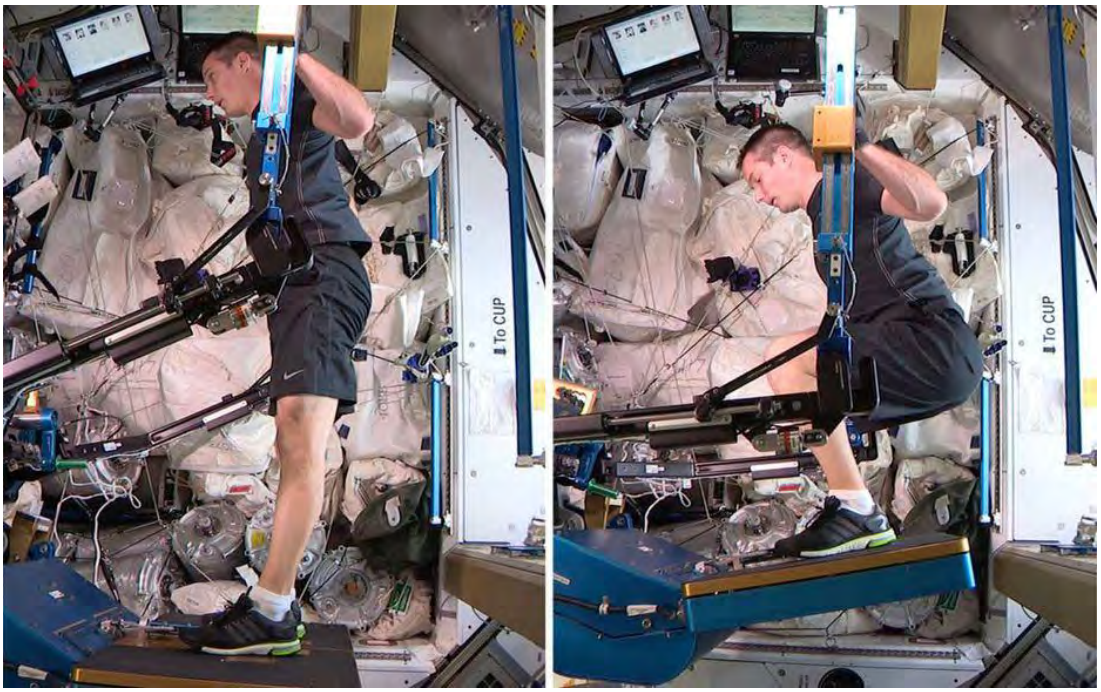
2.2.3.1. Matériel à monter :

Instruments	Caractéristiques techniques
4 jeux d'orthèses occlusales	✓ Poids estimé à 40 grammes par orthèse ✓ 4 boîtes

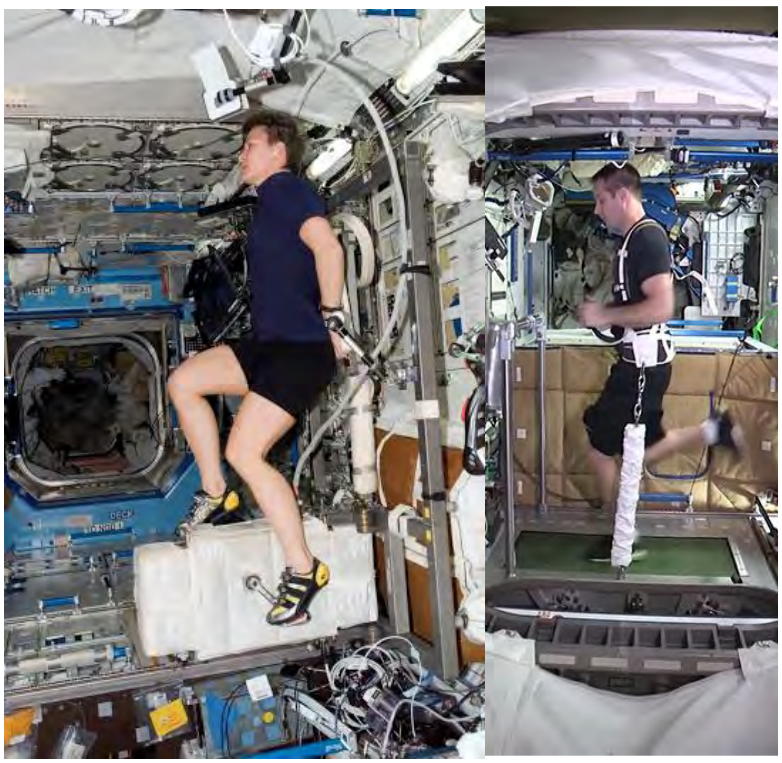
Correctement réalisées, ces orthèses ne gênent absolument pas la pratique du sport. Cette condition sera validée lors des phases d'exercices au sol.

2.2.3.2. Matériel déjà monté :

Instruments	Caractéristiques techniques
CEVIS : vélo d'appartement version spatiale	Plusieurs machines ont été spécialement conçues pour réaliser des exercices physiques en impesanteur. Les instruments sont déjà présents dans la Station spatiale Internationale. Ces dispositifs sont déjà couplés aux ordinateurs. Il faudrait étudier la possibilité de calibrer les dispositifs avec des dispositifs similaires au sol.
T2 : Tapis roulant retenant le spationaute	
ARED : une machine de musculation	



Figures 5 : Machine de musculation dans l'ISS



Figures 6 : Vélo d'appartement et tapis de course retenant le spationaute

2.2.3.3. Matériel revenant au sol :

Aucun, les orthèses ne font pas nécessairement l'objet d'une expertise post-expérimentale.

2.2.3.4. Opération du spationaute :

Aucune autre opération autre que celle de placer soi-même une des quatre orthèses occlusales en bouche, lors des exercices physiques courants et habituellement pratiqués, et de la remettre dans la boîte à la fin de la séquence.

2.2.3.5. Données à descendre :

Aucune, le recueil se faisant par télémesures.

2.2.3.6. Autre :

L'orthèse pourra être nettoyée par une brosse à dents et est remplacée régulièrement par une nouvelle similaire.

2.2.3.7. Protocole de test :

La durée de chaque protocole sera dépendante du type d'entraînement réalisé par le spationaute (travail d'endurance, renforcement musculaire, temps d'entraînement, nombre d'exercices, de série, de répétitions, de tempo entre chaque mouvement). Cet élément reste à définir. L'alternance entre les différentes procédures se fera sur un cycle de 5 jours.

Procédure 1 *: entraînement sans orthèse au Jour 1 (à compter du début des entraînements)*

1. *Réalisation de l'entraînement*
2. *Enregistrement des données de façon habituelle à l'aide du monitoring de l'ISS (Télémesures).*
3. *Fin entraînement*

Procédure 2 *: entraînement avec orthèse occlusale amovible idéale (ORT1) au Jour 2*

1. *Mise en place de ORT1 en bouche (rangée dans boîte calibrée) nécessitant environ 5 secondes*
2. *Réalisation de l'entraînement*
3. *Enregistrement des données de façon habituelle à l'aide du monitoring de l'ISS (Télémesures)*
4. *Fin entraînement et dépose de l'orthèse occlusale*
5. *Nettoyage minutieux de l'orthèse (même technique que pour l'hygiène bucco-dentaire) (10 secondes)*
6. *Rangement (environ 5 secondes)*

Procédure 3 *: entraînement avec une orthèse occlusale de sous-occlusion unilatérale (ORT2) au Jour 3*

1. Mise en place de ORT2 en bouche (5 secondes). Idem que pour Procédure 2.

Procédure 4 *: entraînement avec une orthèse occlusale d'antéposition mandibulaire (ORT 3) au Jour 4*

1. Mise en place de ORT3 en bouche (5 secondes). Idem que pour Procédure 2.

Procédure 5 *: entraînement avec une orthèse occlusale de latéro-déviation de la mandibule (ORT4) au Jour 5*

1.Mise en place de ORT4 en bouche (environ 5 secondes). Idem que pour Procédure 2.

2.2.4. Expérimentation n°4 exécutée au sol répondant à l'objectif 4 : comment la récupération physiologique peut-elle être améliorée par le port d'une orthèse occlusale au retour de la mission ?

2.2.4.1. Matériel nécessaire :

Le matériel nécessaire sera le même que l'Expérimentation n°2.

2.2.4.2. Protocole de test :

Une session d'évaluation par électromyographie de surface des muscles manducateurs, trackeur mandibulaire, plateforme de stabilométrie et ergomètre sera effectuée au retour de la mission, sans orthèse et avec chacune des 4 orthèses dont il aura été conservé une copie si le retour des orthèses n'est pas prévu (reproductible grâce aux données de la situation clinique numérisée).

Le spationaute serait réévalué régulièrement dans son centre de réadaptation habituel, réalisant dans la durée le même travail physique habituel sans orthèse occlusale et avec l'orthèse dite « idéale » la semaine suivante en alternance. Ceci pourra être modulé en fonction du planning de monitoring prévu pour le spationaute à son retour sur terre.

2.2.5. Expérimentation n°5 (étude complémentaire) exécutée au sol avant la mission, dans l'ISS durant la mission et au sol après la mission répondant à l'objectif 5 : analyser le microbiote oral en état d'impesanteur afin d'étudier la mise en place d'une signature bactérienne dans un milieu aux paramètres modifiés en la comparant à celle précédant le vol et celle suivant le retour en apesanteur *:*

La cavité buccale présente un écosystème très complexe de micro-organismes divers organisés en un biofilm. La dysbiose du microbiote oral est la première étape du développement des infections orales que sont les caries et les parodontites. Cette expérimentation aurait pour but d'analyser la réaction de l'écosystème buccal en présence d'un corps étranger, à savoir une orthèse occlusale. (12)

2.2.5.1. Matériel :

- ✓ 6 microtubes en polypropylène de type Eppendorf de 2ml (Dutscher, France)

2.2.5.2. Protocole :

1. Un prélèvement (crachat) avant la réalisation de l'orthèse ;
2. Un prélèvement avant le décollage ;
3. Un prélèvement par mois pendant la mission ;
4. Un prélèvement au retour de la mission.

A partir des prélèvements, sera réalisée une analyse taxonomique par un séquençage à haut débit de type miSeq permettant d'identifier l'ensemble des bactéries par analyse de l'ADN bactérien. **Cette analyse sera réalisée au retour de la mission**.

2.3. RESULTATS

Les premiers recueils concernent les données « pré-mission » enregistrées au sol. Provenant de l'Expérimentation n°1 (mesures menées par électromyographie de surface des muscles manducateurs, trackeur mandibulaire, plateforme de stabilométrie et ergomètre sur respectivement les forces musculaires des principaux muscles manducateurs au repos dents serrées et non-serrées, mesure de l'enveloppe des mouvements limites de la mandibule au repos, vitesse et accélération de la mandibule lors du mouvement, surface du stabilogramme et longueur développée de la pelote des centres de pression des pieds mesurée au repos dents serrées et non-serrées, la force maximale isométrique développée des quadriceps) et de l'expérimentation n°2 (mesures des données identiques à l'Expérimentation n°1 mais cette fois lors du port des 4 orthèses occlusales soit une orthèse amovible idéale, une orthèse d'antéposition mandibulaire, une orthèse de latéro-position mandibulaire, une orthèse comportant une sous-occlusion unilatérale).

Le deuxième pull de données est collecté pendant la mission. Elles sont enregistrées par le monitoring de l'ISS et télétransmises et concernent l'Expérimentation 3 (mesures de suivi des performances physiques du spationaute habituelles lors du port des orthèses occlusales et sans orthèse durant ces entraînements sportifs quotidien).

Les données post-mission sont enregistrées au sol provenant de l'Expérimentation n°4 (mesures lors de la session d'évaluation avec les 4 orthèses lors de son retour de mission, ainsi que les mesures de suivi des performances sportives du spationaute durant sa rééducation musculaire avec port d'une orthèse occlusale idéale et sans orthèse).

Le traitement des données est réalisé conventionnellement : organisation en fichier de variables, statistiques descriptives, analyse des données multivariée, statistiques probabilistes avec tests et analyse appropriés à l'énonciation des résultats.

2.4. PERTINENCE DE L'EXPERIENCE

Validité interne	Optimisation posturale des spationautes en préparation des vols longs. Optimisation du maintien et du calage cervico-céphalique chez les sujets subissant de fortes accélérations (pilotes d'essais).
Validité externe	Optimisation occluso-posturale chez les sportifs de haut niveau. Meilleure compréhension du rôle des dents et de l'occlusion dentaire dans la régulation du système tonique postural global. Meilleure compréhension des dysfonctions occluso-posturales chez certains patients douloureux chroniques.
Valorisation de l'expérience	Communication dans les journaux et les congrès spécialisés notamment en occlusodontologie, médecine du sport, réadaptation fonctionnelle. Communication auprès du grand public. Mise en évidence de l'importance et de l'impact de la recherche spatiale et de ses retombées positives sur les connaissances et les avancées scientifiques.

2.5. DEVELOPPEMENT TECHNIQUE

Les moyens techniques nécessaires pour la réalisation de l'expérience sont réduits, puisqu'il est utilisé du matériel déjà installé et disponible, dans des protocoles déjà éprouvés, et où le spationaute est son propre expérimentateur.

L'expérience nécessitera également les tubes de prélèvements salivaires stériles au poids et au volume très faible (8g par tube de prélèvement).

La réalisation de ce projet ne demande pas de financement particulier de la part d'une aide extérieure. La logistique, la conception, le traitement de l'expérience sont effectués à l'UFR d'odontologie de l'UPS qui peut fournir les dispositifs occlusaux et appareils d'enregistrements transportables. Une participation extérieure peut être nulle ou limitée si nécessaire à l'acquisition de matériel (hardware) dédié à l'expérience ainsi qu'aux opérateurs de valorisation de résultats.

Le temps nécessaire à la préparation estimée de l'expérience est très réduit : il consiste en une journée de préparation pour l'organisation d'une consultation spécialisée d'occlusodontologie du CHU de Toulouse pour le spationaute avant la mission. Les autres enregistrements seront réalisés durant le protocole courant d'entraînement du spationaute.

Le temps nécessaire à l'expérimentation sur l'ISS est très réduit : il consiste seulement en la mise en bouche d'une orthèse occlusale avant chaque séance de sport habituelle et de son entretien (hygiène) représentant au total quelques dizaines de secondes par jour. Pour la partie concernant le microbiote, elle consiste en un prélèvement salivaire mensuel (crachat) à effectuer par le spationaute, qui sera ensuite congelé à -20° et conservé pour une analyse asynchrone. L'analyse des prélèvements salivaires étant asynchrone, cette partie du projet ne sollicitera aucun dispositif d'analyse de l'ISS.

L'expérience nécessite néanmoins un accompagnement technique pour sa conception dans la description et le calibrage des systèmes sportifs utilisés dans les protocoles courants.

2.6. ANALYSE DES RISQUES

Les orthèses occlusales sont semi-rigides, elles sont faites pour une utilisation orale sur le long terme. Cependant, elles pourront s'abîmer voire se casser en cas de mauvaises utilisations. En cas de perte ou de détérioration des orthèses, elles seront dupliquées et à disposition en plusieurs exemplaires par le spationaute afin d'être remplacées.

Le port des orthèses dans la cavité orale pendant plusieurs heures nécessitera après chaque usage un nettoyage adapté afin d'éviter la colonisation bactérienne éventuelle de l'orthèse.

III. RECAPITUALTIF

*	Projet ASTROCCLUSIE
Temps d'équipage **(30 min maximum)**	Orthèses occlusales + Kits de prélèvement salivaire à emporter (temps très réduit)
Données de télémesures	Relevées par le monitoring (déjà installé et prévu) et analyse asynchrone des prélèvements salivaires
Masse maximale	Boîtes calibrées, orthèses et kits de prélèvement salivaire estimés à 500g
Volume global	Estimation à 50cm3
Règles de sécurité et d'éthique	OK
Financement	Financement propre exclusif
Points durs nécessitant une aide externe	- Calibrage des systèmes sportifs. - Définir l'organisation, la fréquence, le type et la durée des entraînements pré-mission. - Définir l'organisation, le type d'entraînement du spationaute et sa durée (entraînement quotidien) pendant la mission. - Définir l'organisation, la fréquence, le type et la durée des entraînements post-mission. - Possibilité de congélation du prélèvement salivaire.
Planning prévisionnel	1. Une journée dans le centre de Réhabilitation d'Occlusodontologie de Rangueil afin de réaliser les mesures et réalisation des orthèses + prélèvement salivaire 1 (Expérimentation n°5) 2. Réalisation de la préparation au sol: mesures Expérimentation n°2 + Prélèvement salivaire 2 (Expérimentation n°5) 3. Réalisation de la mission: mesures Expérimentation n°3 + Prélèvements salivaires 3 mensuels (Expérimentation n°5) 4. Réalisation de la rééducation/entraînement au sol en retour de mission: mesures Expérimentation n°4 + Prélèvements salivaires 4 (Expérimentation n°5) 5. Analyse des données et résultats

IV. L'EQUIPE D'ASTROCCLUSIONAUTES

NOMS	TITRES	INSTITUTIONS
Marine BOUDJEMAA	-Etudiante doctorante en chirurgie dentaire -Ancienne Externe des hôpitaux	Université Paul Sabatier Faculté de Chirurgie Dentaire Toulouse III
Dr. Florent DESTRUHAUT DDS, PhD	- Responsable UF Occlusodontologie - Rangueil - Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier - Expert près la Cour d'Appel de Toulouse	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse Laboratoire LISST-CAS UMR5193 (Anthropologie sociale)
Dr. Antonin HENNEQUIN DDS	- Chirurgien-dentiste, responsable du DU d'Occlusodontologie, Rangueil - Assistant hospitalo-universitaire	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse
Dr. Sara LAURENCIN DDS PhD	- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse Unité INSERM 1043CPTP
Dr. Pascal Baron DDS PhD	- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier - Responsable UF Orthodontie Rangueil	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse Laboratoire UMR5288 CNRS (Equipe Imagerie de synthèse)
Pr Catherine NABET DDS PhD	- Professeur des Universités - Praticien Hospitalier - Professeur de Santé Publique/Epidémiologie	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse UMR1027
Dr Jean-Claude COMBADAZOU DDS PhD	- Docteur en Chirurgie dentaire - Chargé d'enseignement en Occlusodontologie	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire ICCMO
Dr Bertrand CHAMPION DDS	- Docteur en Chirurgie dentaire - Assistant hospitalo-universitaire en Occlusodontologie	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire CHU Rangueil, Toulouse
Xavier DUSSEAU	- Prothésiste dentaire (UF Occlusodontologie)	Université Paul Sabatier, Toulouse III Faculté de Chirurgie Dentaire
Thierry LETELLIER PhD	- Chargé de Recherche INSERM Equipe de Médecine Evolutive	UMR AMIS 5288 CNRS Université Toulouse III
Denis PIERRON PhD	- Chargé de Recherche CNRS Equipe de Médecine Evolutive	UMR AMIS 5288 CNRS Université Toulouse III

CONCLUSION

Cette quête de l'espace nous pousse à une amélioration constante des connaissances sur la physiologie humaine ainsi qu'une amélioration des performances physiques. ASTROCCLUSIE a pour ambition d'adopter un angle innovant de recherche : les analyses représenteraient une avancée dans la recherche scientifique et la connaissance de la cavité orale au sein de la neurologie posturale et de la physiopathologie. La dégénérescence musculaire et les infections sont des effets associés à un état en impesanteur prolongé et leur limitation reste un des enjeux principaux de ces prochaines années en vue de l'exploration spatiale et des vols de longue durée. Les résultats de cette expérience permettront de mieux comprendre certains phénomènes et ainsi mettre en place des stratégies avant, pendant et après les missions afin d'optimiser leur prévention.

Astrocclusie est donc un projet de recherche novateur et interdisciplinaire basé sur les principes des études de type « N of one clinical trial ». L'idée même d'optimisation physique par un biodispositif médical (orthèse occlusale) touche un concept lié à l'anthropologie et à l'épistémologie du corps, à savoir le transhumanisme. Ainsi, notre projet se situe au carrefour singulier des nouvelles technologies, des sciences biologiques et médicales (occlusodontologie et neurophysiologie posturale), mais aussi des sciences humaines et sociales.

« Les étoiles sont éclairées pour que chacun puisse y trouver un jour la sienne. »

Antoine de St-EXUPERY

Le Président du jury **Le Directeur de thèse**

ANNEXES

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Hôpitaux de Toulouse

ASTROCCLUSIE

HYBRIDATION ET OPTIMISATION EN MEDECINE ORALE SPATIALE

M. Boudjemaa, A. Hennequin, S. Laurencin, X. Dusseau, B. Champion, C. Nabet, F. Destruhaut
Faculté de Chirurgie Dentaire, Université Toulouse III – Paul Sabatier, Toulouse, France

INTRODUCTION

L'environnement spatial est un milieu hostile à la santé des spationautes. Très peu d'études scientifiques ont été menées sur la santé orale en microgravité. Le projet de recherche AstrOcclusie propose de faire porter aux sujets en microgravité ***un jeu d'orthèses occlusales modifiant la position de la mandibule ainsi que leur occlusion dentaire afin d'en mesurer les impacts sur la posture, la force, le tonus musculaire***. Le projet propose également ***une étude complémentaire sur la signature du microbiote oral***. Nos résultats permettrons d'ouvrir sur un protocole complémentaire dont l'objectif sera de ***mesurer l'influence de l'occlusion dentaire sur la vision et les mécanismes oculo-moteurs en microgravité.***

DESCRIPTIONS TECHNIQUES ET PROTOCOLE

Expérimentation n°3 EXECUTEE EN SITUATION D'IMPESANTEUR
Déterminer si les performances sportives du spationaute peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale, lorsque la régulation du tonus postural global est modifiée en état d'impesanteur.

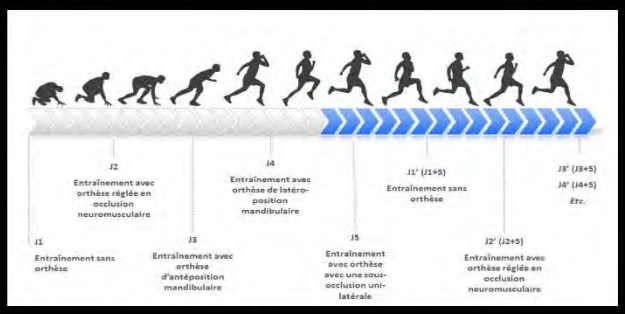
Matériel

Vélo d'exercice pour spationaute *Tapis roulant conçu pour le spationaute* *Machine de résistance pour spationaute*

Orthèses occlusales	Orthèse réglée en occlusion neuromusculaire (ORT1)
	Orthèse d'antéposition mandibulaire (ORT2)
	Orthèse de latéro-position mandibulaire (ORT3)
	Orthèse comportant une sous-occlusion unilatérale (ORT4)

Orthèse occlusale

Protocole



Expérimentation n°4 EXECUTEE AU SOL
Déterminer si la récupération physiologique peut être améliorée par le port d'une orthèse occlusale au retour de la mission.

Matériel : identique à l'expérimentation n°2

Protocole

Une session d'évaluation par électromyographie de surface des muscles manducateurs, trackeur mandibulaire, plateforme de stabilométrie et ergomètre sera effectuée au retour de mission, sans orthèse et avec chacune des 4 orthèses. Le sujet serait ensuite réévalué régulièrement dans son centre de réadaptation habituel, réalisant dans la durée le même travail physique habituel sans orthèse occlusale et avec l'orthèse dite « idéale » la semaine suivante en alternance.

Expérimentation n°2 EXECUTEE AU SOL
Déterminer si les performances sportives du spationaute peuvent être améliorées ou dégradées par le port d'une orthèse occlusale, lors de sa préparation au sol.

Matériel

Orthèses occlusales	Orthèse réglée en occlusion neuromusculaire (ORT1)
	Orthèse d'antéposition mandibulaire (ORT2)
	Orthèse de latéro-position mandibulaire (ORT3)
	Orthèse comportant une sous-occlusion unilatérale (ORT4)

Orthèse occlusale

Trackeur de mouvements mandibulaires *Electromyographie de surface*

Plateforme de stabilométrie *Ergomètre*

Protocole

Il s'applique selon les mêmes modalités que l'expérimentation n°1 et peut être réalisé dans la même séquence expérimentale.

Expérimentation n°1 EXECUTEE AU SOL
Comprendre l'impact de l'occlusion dentaire habituelle du spationaute sur ses performances sportives lors de la préparation au sol.

Matériel

Trackeur de mouvements mandibulaires *Electromyographie de surface*

Plateforme de stabilométrie *Ergomètre*

Protocole

Test 1A	Les forces musculaires des principaux muscles de l'appareil manducateur sont enregistrées au repos dents non-serrées puis dents serrées.
Test 1B	L'enveloppe des mouvements limites de la mandibule est enregistrée au repos dents non-serrées puis dents serrées, ainsi que la vitesse et l'accélération de la mandibule lors des mouvements.
Test 1C	La surface du stabilogramme et la longueur développée de la pelote des centres de pression des pieds sont mesurées au repos dents non-serrées puis dents serrées..
Test 1D	Plusieurs appareils peuvent être utilisés selon la disponibilité du matériel, notamment un ergomètre pour mesurer la force maximale isométrique développée par le quadriceps pour un angle du genou de 60°, au repos dents non-serrées puis dents serrées.

Expérimentation n°5 (étude complémentaire) EXECUTEE AU SOL ET EN IMPESANTEUR
Analyser le microbiote oral en état d'impesanteur afin d'étudier la mise en place d'une signature bactérienne dans un milieu aux paramètres modifiés en la comparant à celle précédant le vol et celle suivant le retour en apesanteur.

Matériel : 6 microtubes en polypropylène de type Eppendorf de 2ml (Dutscher) (et/ou mastication de « salivette »)

Protocole

Prélèvement n°1	Prélèvement (crachat) avant la réalisation de l'orthèse
Prélèvement n°2	Prélèvement avant le décollage
Prélèvement n°3	Prélèvement pendant les vols paraboliques
Prélèvement n°4	Prélèvement au retour des vols paraboliques
Analyse taxonomique	A partir des prélèvements, sera réalisée une analyse taxonomique par un séquençage à haut débit de type miSeq permettant d'identifier l'ensemble des bactéries par analyse de l'ADN bactérien.

CONCLUSION

AstrOcclusie se présente comme un projet de recherche scientifique novateur dont l'inspiration est issue d'**une approche transdisciplinaire sur l'hybridation**. Son but est **d'amplifier intrinsèquement certaines fonctions humaines dont la tonicité musculaire, et même, peut-être, l'équilibre, la vision et l'oculo-motricité**. Notre démarche s'inscrit à travers une vision de **médecine d'amplification**, dans le sens où il vise à augmenter l'homme par le biais de dispositifs prothétiques positionnés au niveau de l'appareil manducateur.

- Aguila M, Benichou M, Hennequin A, Grégoire G, Destruhaut F. Temporo-mandibular disorders: Benefits of a cervical therapeutic approach in facial myalgia treatment. Oral Health and Care 2019
- Collins F. *Odontologie spatiale et missions interplanétaires : apport de la télémédecine bucco-dentaire*. Thèse d'exercice en Chirurgie dentaire, dir. Hamel O, Université Paul Sabatier Toulouse III, 2018-TOU3-3021 : 92p
- Haigneré C, Jonas P, Khayat P, Girot G. Bone height measurements around a dental implant after a 6-month space flight: a case report. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2006; 21(3): 450-454.

TABLE DES ABREVIATIONS

DVO = Dimension Verticale d'Occlusion
DVRP = Dimension Verticale de Repos Physiologique
ELIRP = Espace Libre d'Inocclusion de Repos Physiologique
EMG = Electromyogramme
BT-EMG = Enregistrement Electromyographique Tonique basal
OIM = Occlusion d'Intercuspidation Maximale
ORT = Orthèse
RCMS = Relation Centrée Myo-Stabilisée
SCM = Sterno-cléïdo-Mastoïdien

TABLES DES FIGURES

Figures 1: électromyographie de surface……19
Figures 2: trackeur et simulation des mouvements mandibulaires……19
Figures 3: plateforme de stabilométrie, statokinésigramme et ergometer……..20
Figures 4: orthèse occlusale (vue endobuccale et dispositive medical) ……..21
Figures 5: machine de musculation dans l'ISS……..23
Figures 6: vélo d'appartement et tapis de course retenant le spationaute……..23

BIBLIOGRAPHIE

1. Bracco P, Deregibus A, Piscetta R. Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects. Neurosci Lett. 2004;356(3):228-30.

2. Sakaguchi K, Mehta NR, Abdallah EF, Forgione AG, Hirayama H, Kawasaki T, et al. Examination of the Relationship Between Mandibular Position and Body Posture. CRANIO®. 2007;25(4):237-49.

3. Tardieu C, Dumitrescu M, Giraudeau A, Blanc J-L, Cheynet F, Borel L. Dental occlusion and postural control in adults. Neurosci Lett. 2009;450(2):221-4.

4. Diaw M. Influence de l'occlusion sur les performances motrices de sportifs sénégalais : étude réalisée sur 22 sportifs. Clinic. 2009;82-6.

5. Ferrario VF, Sforza C, Dellavia C, Tartaglia GM. Evidence of an influence of asymmetrical occlusal interferences on the activity of the sternocleidomastoid muscle. J Oral Rehabil. 2003;30(1):34-40.

6. Miralles R, Dodds C, Manns A, Palazzi C, Jaramillo C, Quezada V & al. Vertical dimension. Part 2: the changes in electrical activity of the cervical muscles upon varying the vertical dimension. Cranio J Craniomandib Pract. 2002;20(1):39-47.

7. Piero M, Simone U, Jonathan M, Maria S, Giulio G, Francesco T & al. Influence of a Custom-Made Maxillary Mouthguard on Gas Exchange Parameters During Incremental Exercise in Amateur Road Cyclists: J Strength Cond Res. 2015;29(3):672-7.

8. Queiróz AFVR, de Brito Jr RB, Ramacciato JC, Motta RHL, Flório FM. Influence of mouthguards on the physical performance of soccer players. Dent Traumatol. 2013;29(6):450-4.

9. Ramin Sharifi Milani. Relationship Between Dental Occlusion and Visual Focusing. Journal of craniomanidbular disorders. 1998:109-18.

10. Eric Matheron, Thanh-Thuan Lê, Qing Yang, Zoï Kapoula. Effetcs of a two-diopter vertical prism on posture. Neuroscience Letters. 2007;423:236-240.

11. Gangloff P, Louis J-P, Perrin PP. Dental occlusion modifies gaze and posture stabilization in human subjects. Neurosci Lett. 2000;4:204-206.

12. Jiao Y, Hasegawa M, Inohara N. The Role of Oral Pathobionts in Dysbiosis during Periodontitis Development. J Dent Res. 2014;93(6):529-546.

BOUDJEMAA Marine 20XX TOU3 30XX

Astrocclusie
Optimisation et hybridation en médecine orale spatiale

RESUME EN FRANÇAIS :

L'environnement spatial est un milieu hostile provoquant des modifications physiologiques du corps humain. La microgravité, le manque de repères nycthéméraux et la verticalité entrainent stress physique et psychique, vieillissement accéléré, dégénérescence musculaire, augmentation du risque infectieux et diminution de l'acuité visuelle. Le projet d'étude Astrocclusie de type « N of one clinical trial » a pour objectif principal l'impact de la modification de l'occlusion dentaire par le port d'orthèses occlusales sur la posture humaine. L'étude de la neurophysiologie musculaire en impesanteur (force, tonus musculaire) permettrait de développer des stratégies d'optimisation par hybridation. Une étude complémentaire du microbiome oral vérifiera l'équilibre de l'écosystème buccal. Ces résultats pourront s'ouvrir sur les connaissances de l'influence de l'occlusion dentaire au niveau du jeu oculomoteur.

TITRE EN ANGLAIS : Hybridization and optimization of Oral Medicine in the space field.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : Hybridation – optimisation - médecine spatiale – orthèse – occlusion dentaire neuromusculaire – posture – microbiome – ISS

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex

Directeur de thèse : Dr Florent Destruhaut