

**UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER**

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

---

ANNÉE 2020

2020TOU3 3069

**THÈSE**  
**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Agathe RUTILY**

Le 26 novembre 2020

---

**ÉVALUATION NEUROMUSCULAIRE APRÈS TRAITEMENT ORTHODONTIQUE**

Directeur de thèse : Dr Florent DESTRUHAUT

Co-directeur : Dr Christiane LODTER

---

**JURY**

Président :	Professeur Philippe POMAR
1er assesseur :	Docteur Jean CHAMPION
2ème assesseur :	Docteur Christiane LODTER
3ème assesseur :	Docteur Florent DESTRUHAUT



**UNIVERSITÉ**  
**TOULOUSE III**  
**PAUL SABATIER**



Université  
de Toulouse

**UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER**

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

---

ANNÉE 2020

2020TOU3 3069

**THÈSE**  
**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

**Agathe RUTILY**

Le 26 novembre 2020

---

**ÉVALUATION NEUROMUSCULAIRE APRÈS TRAITEMENT ORTHODONTIQUE**

Directeur de thèse : Dr Florent DESTRUHAUT

Co-directeur de thèse : Dr Christiane LODTER

---

**JURY**

Président :	Professeur Philippe POMAR
1er assesseur :	Docteur Jean CHAMPION
2ème assesseur :	Docteur Christiane LODTER
3ème assesseur :	Docteur Florent DESTRUHAUT



**UNIVERSITÉ**  
**TOULOUSE III**  
**PAUL SABATIER**



Université  
de Toulouse

## Faculté de Chirurgie Dentaire

### ➔ DIRECTION

#### DOYEN

M. Philippe POMAR

#### ASSESEUR 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 Munel VERDAGUER

### ➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

### ➔ 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

## Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

### 56.01 ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE et ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

#### ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE  
Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY  
Assistants : Mme Alice BROUTIN, Mme Marion GUY-VERGER  
Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE, Mme. Chiara CECCHIN-ALBERTONI

#### ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, 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 LAGARD, 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, M. Matthieu RIMBERT

### 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 RAYNALDY, M. Jérôme SALEFRANQUE.

### BIOLOGIE ORALE

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

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

### 58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHÈSES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX (M. Serge ARMAND)

#### DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

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

#### PROTHÈSES

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

#### FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX

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

Mise à jour pour le 05 Novembre 2020

## **REMERCIEMENTS :**

À ma maman, tu es une mère exceptionnelle. Tu as rempli ma vie d'amour, de joie et de rire. Je ne peux pas me passer de toi. Pour tout ce que tu es mais surtout pour ce que tu as fait de moi. Je t'aime.

À mon grand-frère Etienne qui a toujours été bienveillant à mon égard. C'est avec une immense fierté et beaucoup de tendresse que je pense à toi.

À Sophie qui le rend si heureux.

À mon papa, à nos moments passés ensemble si précieux. Je m'efforce chaque jour de te rendre fière. À Jeanne et sa douceur.

À ma famille, vous êtes mes anges gardiens qui veillent sur moi au loin. Je vous en remercie. Ce travail est aussi le vôtre.

À ma deuxième famille, François, Claire et Morgane, mes trésors dans ce monde de fou.

À Clara, tu es mon modèle, ma meilleure et je suis si fière d'avoir suivi ton brillant parcours.

Au pire du pire, Alan, Caroline, Charlotte, Chloé, Édouard, Flora, Lauriane, Jordane, Mattieu et Arnaud, mes meilleurs amis. À toutes nos soirées, nos vacances, nos moments ensemble, sans vous je ne serai pas là aujourd'hui.

À Ziad.

*Je dédie ce travail à Thierry.*

À 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.),
- Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques.

*Nous vous remercions sincèrement d'avoir accepté la présidence de notre jury de Thèse.*

*Nous vous remercions pour l'écoute et la disponibilité dont vous avez toujours fait preuve  
tout au long de nos études.*

*Nous nous souviendrons de l'ouverture que vous avez toujours tenu à apporter dans  
l'enseignement que vous nous avez prodigué, véritable invitation à replacer notre art dans  
son contexte Humain et Philosophique.*

*Veillez trouver par ces quelques mots l'expression de notre plus profond respect.*

À notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur **Jean CHAMPION**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Responsable de la sous-section de Prothèses,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur d'État 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.

*Nous vous remercions pour l'accueil chaleureux que vous nous avez toujours réservé, tout au long de nos études et de notre vie étudiante. Vous avez su rendre notre arrivée dans la faculté d'Odontologie de Toulouse rassurante, et montré à quel point nous entrions dans cette grande famille qu'elle constitue.*

*Puisse ce travail, s'il en est digne, vous témoigner notre estime et notre gratitude la plus sincère.*

À notre co-directeur de thèse,

Madame le Docteur **Christiane LODTER**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- Docteur de l'Université Paul Sabatier
- Spécialiste qualifiée en Orthopédie Dento-Faciale
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.)

*C'est avec une profonde gratitude que je vous remercie d'avoir accepté de co-diriger mon travail.*

*Je suis très reconnaissante de la confiance que vous m'avez accordée durant tout mon internat, ainsi que de m'avoir transmise votre savoir et votre expérience clinique.*

*Soyez assurée de mon plus grand respect.*

À notre directeur de thèse,

Monsieur le Docteur **Florent DESTRHUAUT**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- 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,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

*C'est avec une profonde gratitude que je vous remercie d'avoir accepté de diriger mon travail.*

*Je suis très reconnaissante de votre disponibilité sans faille, de vos conseils toujours avisés et pertinents ainsi que pour l'accueil chaleureux que vous m'avez réservé au sein du DUORAM.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre respect et de notre reconnaissance.*

## Table des matières

<b>I/ PARTIE I : CONTEXTE</b> .....	<b>14</b>
A. INTRODUCTION .....	14
1. L'Électromyographie .....	18
a- Principe et fonctionnement .....	18
b. L'électromyographie en orthodontie .....	22
B. OBJECTIFS .....	27
<b>II/ Partie II : ÉTUDE PILOTE</b> .....	<b>28</b>
A. MATÉRIELS ET MÉTHODE .....	28
1. Collection et qualité des données .....	28
2. Description de l'échantillon étudié .....	35
3. Analyse statistique .....	37
B. RÉSULTATS .....	38
1. Comparaison avant (T1) et après débague (T2) .....	38
2. Comparaison avant débague (T1) et à 3 mois (T3) .....	38
3. Comparaison après débague (T2) et à 3 mois (T3) .....	39
4. Comparaison des enregistrements électromyographiques musculaires aux différents temps d'enregistrement comparés aux valeurs standards .....	40
5. Comparaison des enregistrements électromyographiques entre les femmes et les hommes .....	43
6. Synthèse des résultats.....	44
C. DISCUSSION .....	45
1. Matériels et méthode.....	45
2. Comparaison des résultats avec la littérature.....	47
D. PERSPECTIVES.....	51
1. Analyse des surfaces occlusales fonctionnelles .....	51

2.	Analyse des EMGs avant et après traitement .....	52
3.	Analyse de la satisfaction .....	53
4.	Comparaison avec un groupe témoin .....	54
	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>60</b>
	<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>61</b>
	<b>Bibliographie .....</b>	<b>62</b>
	<b>Table des illustrations .....</b>	<b>71</b>
	<b>Annexes.....</b>	<b>73</b>

## I/ PARTIE I : CONTEXTE

### A. INTRODUCTION

Pour Hogrel (2005), l'électromyographie de surface (EMGs) désigne les techniques d'enregistrement du signal myoélectrique ainsi que les méthodes de traitement et d'analyse qui leurs sont associées (1). L'Homme démontre un grand intérêt depuis longtemps pour l'étude du mouvement, il a toujours fait preuve d'une vive curiosité quant aux origines de sa locomotion. Historiquement, la détection de l'activité électrique du muscle lors de son fonctionnement figure parmi les plus anciennes découvertes scientifiques. L'exploration du signal électrique émis par le muscle humain et animal date de Luigi Galvani, père de l'électrophysiologie, qui a réalisé ses expériences sur des grenouilles (1792)(Fig.1)(2). Il conclut que le tissu animal contient une force vitale innée, qu'il nomme « **électricité animale** », lorsqu'il obtient une convulsion musculaire quand les cuisses de grenouille sont au contact avec un arc métallique conducteur. Galvani confirme par ses expériences que **la contraction musculaire est liée à l'activité électrique**. Par la suite, il a été découvert qu'il est possible d'enregistrer l'activité électrique durant une contraction musculaire volontaire et le premier enregistrement de cette activité fut réalisé par Piper en 1907 par le biais d'électrodes sur la peau en regard du muscle.

Signe majeur de la vie, le mouvement est rendu possible notamment grâce à l'action des muscles. Ainsi, « l'Électrologie ou électrisation localisée » -premier terme utilisé pour l'électromyographie (EMG)- a vu sa popularité fortement augmenter au cours de ces dernières années afin d'étudier la participation des muscles squelettiques dans le mouvement. Favorisée par les progrès de la technologie, des capteurs et des capacités de calcul des ordinateurs, il a fallu attendre la deuxième partie du vingtième siècle pour que l'EMG devienne une discipline scientifique reconnue.

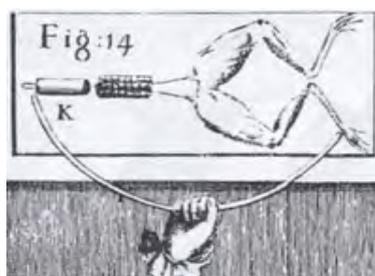


Figure 1 : Découverte de l'électricité animale : Convulsions des membres d'une grenouille disséquée, sans avoir recours à aucune électricité artificielle, par la seule application d'un arc conducteur, Galvani (1792)(2)

Le signal extrait durant l'activité musculaire et les informations associées peuvent être utilisés dans différents champs d'application. Notamment, l'utilisation de l'EMGs comme outil non invasif dans l'analyse du système neuromusculaire est confirmée par la multiplication de ses domaines d'application en médecine (Fig.2)(1)(3)(4)(5)(6)(7). Utilisée comme un examen complémentaire dans de nombreuses spécialités médicales, l'interprétation des données découle du tableau clinique du patient et inclut le choix des différents territoires explorés et des différentes techniques à appliquer. L'exploration fonctionnelle neuromusculaire peut-être réalisée consécutivement à des électrostimulations.

<b>Pneumologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectif</b> : Enregistrer au moyen d'électrodes de surface les muscles; du diaphragme, intercostaux, scalènes, abdominaux et les muscles respiratoires accessoires comme les sternocléïdomastoïdiens.</li> </ul>
<b>Neurologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectif</b> : Étudier la faiblesse musculaire, la fatigue, les parésies, la paralysie, les vitesses de conduction nerveuses, les lésions de l'unité motrice ou pour le diagnostic différentiel entre problèmes nerveux et musculaires.</li> </ul>
<b>Obstétrique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectifs</b> : Différencier les contractions utérines efficaces menant à l'accouchement des contractions physiologiques et visualiser les variations de potentiel membranaire dans les cellules myo-métriales..</li> </ul>
<b>Urologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectifs</b> : Pour explorer l'activité musculaire du plancher pelvien.</li> </ul>
<b>Cardiologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectifs</b> : Représentation graphique de l'activité électrique du cœur avec l'électrocardiogramme.</li> </ul>
<b>Médecine du sport</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Objectifs</b> : Étudier la fonction, la coordination, la fatigue musculaire, la rééducation, interaction Homme-machine..</li> </ul>

Tableau 1 : Domaines d'application de l'EMGs en médecine

Dans le domaine de la dentisterie, l'utilité de l'EMG de surface n'est plus à démontrer, de nombreux articles ont été publiés sur l'intérêt de l'EMG dans le cadre de la prise en charge des désordres temporo-mandibulaires et des troubles de la cinématique mandibulaire. En effet, dans une méta-analyse de Nishi et al. (8), l'intérêt de l'EMGs est retrouvé dans la rééducation oro-faciale, la réhabilitation prothétique ainsi que le diagnostic des désordres temporo-mandibulaires.

En orthopédie dento-faciale, l'évolution des concepts thérapeutiques est maintenant davantage orientée vers des traitements bio-fonctionnels et bio-mécaniques. Dès la fin des années 1950, Ricketts élabore la technique bioprogressive (9)(10) en prenant en compte les bases squelettiques, l'environnement esthétique et fonctionnel (11). Au cours de cette évolution, l'équilibre neuromusculaire et postural est recherché en fin de traitement afin d'obtenir une occlusion myo-fonctionnelle stable à long terme. En effet, la réussite d'un traitement orthodontique est potentialisée par la gestion de l'équilibre fonctionnel du patient en appliquant les principes biologiques de la nature pour l'obtention de l'occlusion post-orthodontique.

Le fonctionnement physiologique de la musculature faciale est fondamental pour l'équilibre du système stomatognathique ainsi l'apport de l'EMGs trouve toute son indication en orthopédie dento-faciale. C'est un outil de détection non invasif qui met en évidence la prédominance d'un mouvement ou d'une fonction, d'un muscle ou d'un groupe musculaire. En complément de l'examen clinique, l'exploration du fonctionnement neuromusculaire apporte une approche nouvelle du diagnostic, de la réévaluation et du pronostic en orthodontie. L'analyse des résultats a pour avantage d'identifier les muscles actifs, de quantifier leurs efficacités et d'évaluer leurs chronologies de contraction musculaire lors de la fermeture buccale. L'objectif de ce mouvement volontaire global est l'accomplissement de la tâche motrice planifiée émanant du lobe frontal qui réalise une suite organisée d'actions musculaires successives comprenant les muscles agonistes et antagonistes mais aussi les muscles stabilisateurs et fixateurs qui fonctionnent en synergie.

Après avoir présenté le fonctionnement et le principe de l'électromyographie de surface, nous présenterons les données de la littérature sur lesquelles nous nous sommes appuyés pour notre travail. Pour finir, nous exposerons une étude pilote mise en œuvre dans le cadre de ce travail de thèse.

Cette première étude porte sur l'observation de **l'intégration fonctionnelle de l'occlusion thérapeutique** dans le système manducateur après traitement orthodontique. En effet, la **stabilité du résultat post-orthodontique** dépend de l'équilibre neuro-musculaire et fonctionnel du patient. L'objectif de ce travail de recherche est de déterminer si **l'équilibre musculaire post-orthodontique est maintenu dans le temps et si il est intégré dans le système manducateur** en comparant les différentes EMGs obtenues chez le même patient. Il s'agit d'une **première étude** afin de collecter des premiers éléments concernant l'intérêt et les résultats de l'EMGs en post-traitement.

## 1. L'Électromyographie

### a- Principe et fonctionnement

L'électromyographie de surface (EMGs) est une technique d'exploration du fonctionnement neuromusculaire non invasive (12). Elle amplifie les signaux myo-électriques qui accompagnent une contraction musculaire et évalue le niveau d'activation (Hagg et coll., 2000 (3); Hoozemans et van Dieen, 2005 (13)). Le signal EMG fournit des informations sur l'activité du muscle, il est corrélé à la force produite : plus l'amplitude du signal EMG est haute, plus la force développée par le muscle est importante. Le signal EMG est détecté au moyen d'électrodes puis il est amplifié, filtré, et affiché sur un écran (14).

### Bases histologiques du muscle strié squelettique

L'unité de base du tissu musculaire squelettique est la fibre musculaire ou myocyte. (Tortora et Grabowski, 1994)(15). Les fibres sont disposées parallèlement et sont constituées de plusieurs myofibrilles qui représentent 80% du volume de la fibre musculaire. Ce sont des éléments cylindriques, d'un diamètre de 1 à 2  $\mu\text{m}$ . Chaque myofibrille présente une alternance régulière de bandes sombres (A, anisotropes) et de bandes claires (I, isotropes). Au milieu de chaque bande I, se trouve une bande plus sombre, la ligne Z (Fig.2). L'espace cylindrique délimité entre deux lignes Z est appelé sarcomère : c'est **l'unité anatomo-physiologique** du muscle. À l'intérieur de chaque sarcomère, on retrouve une série parallèle et régulièrement alternée de myofilaments fins d'actine et larges de myosine, interagissant par un système de liens moléculaires, de ponts actine-myosines qui sont responsables des changements de longueur du muscle pour développer la tension (Bouisset et coll., 1995) (16).

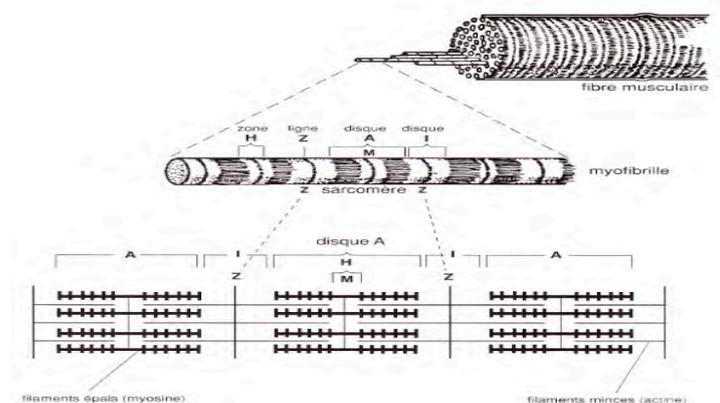


Figure 2 : Structure de la fibre musculaire (d'après Bloom et Fawcett 1962)

### **Base physiologique de la contraction musculaire:**

Lors d'une contraction musculaire, l'arrivée d'un potentiel d'action (PA) au niveau de la jonction neuromusculaire entraîne l'ouverture des canaux calciques voltage-dépendants et les liens entre les myofilaments se modifient à la suite d'une dépolarisation membranaire, causant le glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine (théorie dite "des filaments glissants" développée par Huxley en 1957 (17)). Pendant cette phase de glissement, les filaments d'actine opposés d'un même sarcomère se rapprochent l'un de l'autre et les sarcomères d'une même fibre musculaire se contractent ensemble, causant le raccourcissement de la fibre.

### **Unité motrice et genèse du signal EMG:**

La force générée par un muscle est contrôlée, par le système nerveux central, selon deux paramètres : le recrutement des unités motrices (UM) et la fréquence de décharge des UM actives. Ces deux paramètres influencent le signal EMG. Toutes les fibres musculaires d'un muscle sont innervées par les axones des nerfs moteurs émanant de la partie antérieure de la moelle épinière. Chaque fibre musculaire n'est innervée que par un seul motoneurone ou nerf moteur. L'ensemble formé par un motoneurone et par les fibres qu'il innerve est appelé unité motrice (UM). C'est la plus petite unité fonctionnelle musculaire. Les connexions entre les terminaisons axonales des motoneurones et les fibres musculaires, appelées les jonctions neuromusculaires ou les plaques motrices, se font généralement au milieu du muscle. Lors de la stimulation d'un motoneurone, la totalité des fibres d'une UM est excitée et les fibres se contractent donc toutes en même temps (loi du "tout ou rien"). Cette organisation permet, au lieu de la contraction totale d'un muscle, une activation progressive et successive des fibres musculaires, unité motrice par unité motrice, et donc l'ajustement de la force nécessaire à l'activité (5).

### **Source du signal EMG**

#### **1- Excitabilité de la membrane musculaire et Potentiel d'Action**

L'excitation des fibres musculaires par le contrôle nerveux représente un facteur important en physiologie musculaire. L'activation d'un motoneurone alpha (induit par le système nerveux central ou par réflexe) provoque la conduction de l'excitation le long du nerf moteur. Après libération de transmetteurs au niveau de la plaque motrice, un potentiel de plaque motrice est formé sur les fibres musculaires innervées par cette unité

motrice. Les caractéristiques de perméabilité membranaire des fibres musculaires sont brièvement modifiées et les ions sodium entrent. Si un certain niveau de seuil est dépassé, la dépolarisation de la membrane provoque un potentiel d'action (PA) et la différence de potentiel change rapidement de  $-80$  mV jusqu'à  $+30$  mV. C'est une bouffée électrique monopolaire qui est immédiatement suivie par une phase de repolarisation, puis d'une période d'hyperpolarisation de la membrane par retour des ions grâce au mécanisme actif de pompe ionique. A partir de la plaque motrice, le potentiel d'action se propage le long de la fibre musculaire dans les deux directions à une vitesse de 1 à 5 m/s, avec une amplitude approximative de 100mV (Brown et coll., 1999)(18).

La contraction d'un muscle est donc obtenue par un PA musculaire (dépolarisation membranaire) lié à un déplacement d'ions et causé par une stimulation de la cellule musculaire par un motoneurone. L'excitabilité de cette cellule constitue le principe fondamental de la technique d'EMG, en effet, lors de la contraction musculaire, l'EMG ne capture pas directement la contraction d'un ou plusieurs muscles, mais plutôt les fluctuations de potentiel électrique qui se produisent à travers plusieurs fibres musculaires d'une ou plusieurs unités motrices actives et détectées à la surface de la peau (19). Les signaux électromyographiques constituent une somme pondérée de l'activité spatiale et temporelle de nombreuses UM (20).

## 2- Potentiel d'action de l'unité motrice (PAUM)

Un nerf moteur possède beaucoup de branches et innerve beaucoup de fibres musculaires. Les différentes longueurs et diamètres des branches de la fibre nerveuse connectée à chaque fibre musculaire cause des temps de propagation différents et les potentiels nerveux arrivent à la plaque motrice avec des délais différents. En conséquence, les activations des fibres musculaires dans une unité motrice donnée sont asynchrones. Le Potentiel d'Action de l'Unité Motrice (PAUM) ainsi créé correspond à la sommation spatio-temporelle des PA de chaque fibre musculaire qui la composent. La forme du potentiel d'action d'unité motrice dépend des propriétés anatomiques et physiologiques des muscles, et des électrodes utilisées pour enregistrer le signal.

### 3- Superposition des PAUM

Lors de l'enregistrement d'une EMG de surface, les contributions de toutes les UM actives sont mélangées dans un « pattern d'interférence ». Les caractéristiques du signal EMG dépendent donc des propriétés des UM actives, de leurs schémas de décharge et de leur interdépendance. L'EMGs correspond à une sommation de PA issus de multiples générateurs d'UM asynchrones, irrégulièrement disposées (Fig.3).

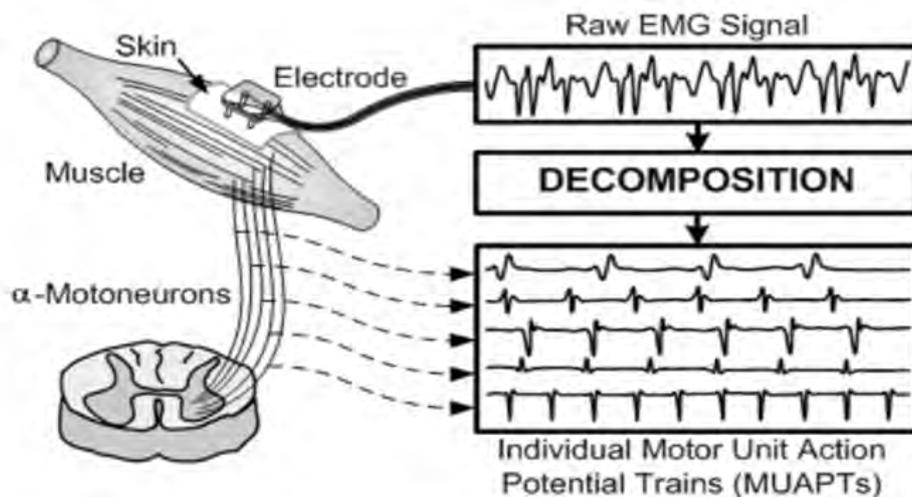


Figure 3 : Schéma explicatif de De Luca et al. : sommation des potentiels d'action (en haut à droite) et décomposition des trains de potentiels d'action générés par chaque UM (en bas à droite) (21)

L'électromyographie se définit donc comme l'art de décrire les signaux électriques d'origine musculaire, manifestations du processus d'excitation résultant de la propagation des potentiels d'action le long de la membrane des fibres musculaires qui sont recueillis, soit localement (dans le muscle; électromyographie intramusculaire dans laquelle une aiguille et des électrodes à fil fin sont insérées à travers la peau dans le tissu musculaire), soit à distance (à la surface de la peau qui correspond à l'EMGs).

## b. L'électromyographie en orthodontie

À la fin des années 1950, Ricketts élabore la technique bioprogressive et amène la notion de double déverrouillage fonctionnel et mécanique. Les traitements ne sont plus seulement squelettiques et dentaires mais ils agissent selon une interdépendance forme/fonction. Cette philosophie est diffusée en Europe dès 1965 par Gugino, qui introduit l'examen musculaire systématique à l'examen clinique pour chaque patient avec l'EMGs. Il utilise un protocole, couplé à l'informatique, permettant le diagnostic de la coordination ventilation/déglutition, de la parole, de la posture et du couplage musculaire avec pour avantage la communication visuelle possible qu'apporte l'écran de l'ordinateur (philosophie Bioprogressive Zérobase)(11).

La musculature faciale est directement et intimement liée au développement des malocclusions. Son fonctionnement physiologique est fondamental afin d'obtenir un équilibre du système stomatognathique. Bien que l'intérêt clinique de l'EMGs en occlusodontie ne soit plus à démontrer, en orthodontie elle reste une pratique peu répandue. L'EMGs prouve grâce à ses enregistrements fiables et reproductibles, la nécessité de rétablir une occlusion fonctionnelle avec un traitement orthodontique. D'après Ferrario et al. 1999 (22), après 12 mois de suivi, l'analyse de l'activité musculaire masticatoire enregistrée par l'EMGs montre que l'impact fonctionnel du patient est associé aux anomalies morphologiques, même conclusion rapportée par Regalo et al. 2017 (23). Donc, ces études suggèrent que les altérations des activités des muscles masticateurs doivent être prises en considération à la fois dans le traitement et dans la stabilité de l'occlusion après le traitement.

De nombreuses études expérimentales ont été développées afin de démontrer l'utilité de l'EMGs au cours du **diagnostic, de la réévaluation, de la rééducation et de la stabilité d'un traitement.**

- Concernant le **diagnostic et les traitements des dysfonctions de l'appareil manducateur:**

Dans la littérature, l'EMGs montre des résultats sensibles pour discriminer et diagnostiquer les patients porteurs de dysfonctions de l'appareil manducateur. En conclusion, la validité et l'objectivité des études EMGs pour distinguer les patients sains et les patients atteints ont été confirmées; l'EMGs est utile pour le diagnostic et le dépistage des dysfonctions de l'appareil manducateur autant sur le plan neuromusculaire qu'articulaire à tout moment du traitement orthodontique (Fig.4)(24)(25)(26).

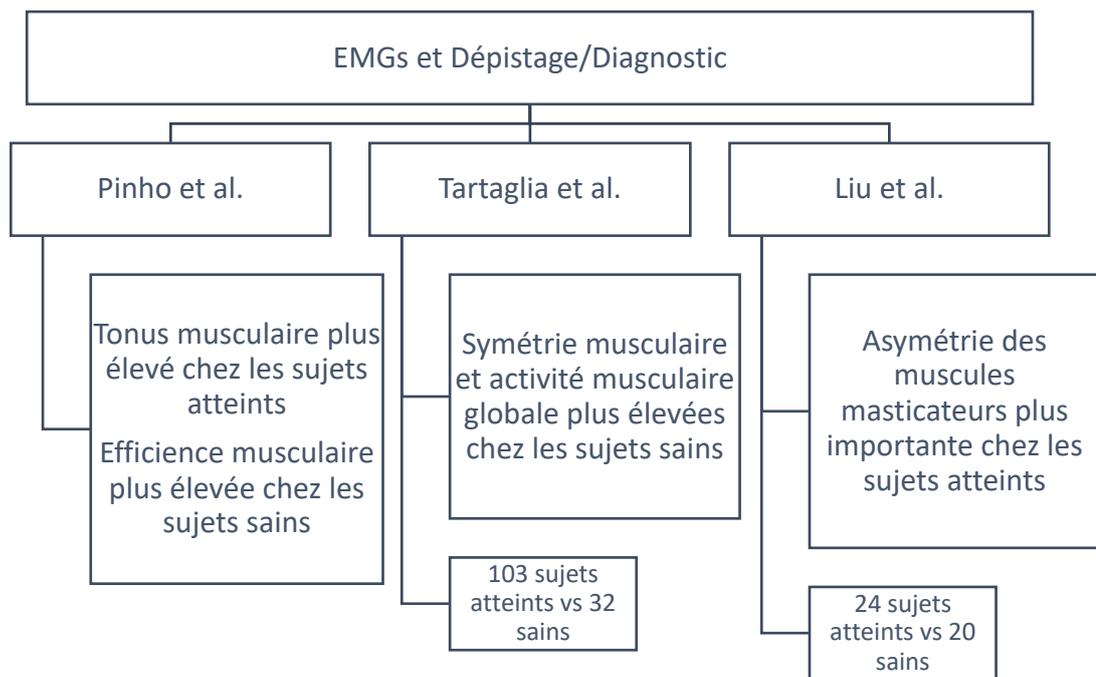


Figure 4 : L'intérêt de l'EMGs dans le diagnostic et le dépistage des dysfonctions de l'appareil manducateur

Les résultats des études EMGs présentées ci-dessus aident à identifier les patients atteints de pathologies de l'appareil manducateur. Les enregistrements EMGs, en plus d'une aide précieuse au diagnostic, évaluent l'efficacité des traitements des dysfonctions de l'appareil manducateur (Fig.5)(27)(28)(29)(30).

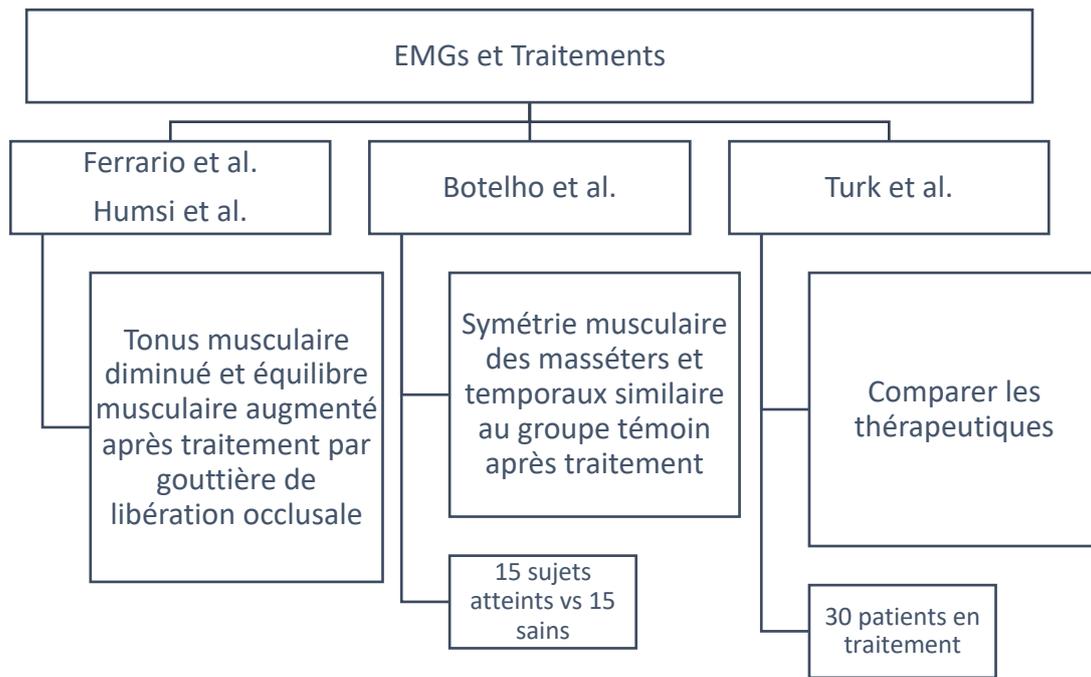


Figure 5 : L'intérêt de l'EMGs dans les traitements des dysfonctions de l'appareil manducateur

- Concernant **les réévaluations** occlusales et musculaires post traitement orthopédique de nombreuses études ont été développées : (Fig.6)

En raison de l'association inextricable entre la fonction et la morphologie, l'une des possibilités de traitement orthodontique est la thérapie fonctionnelle. L'objectif de ce type de traitement est d'améliorer l'équilibre des muscles et d'équilibrer correctement les forces influençant la croissance et le développement craniofacial. La surveillance de l'activité musculaire grâce à l'EMGs à chaque moment du traitement est utile pour guider la thérapie occlusale, neuromusculaire et fonctionnelle (Fig.6)(31)(32)(33)(34)(35). Iodice et al. 2016 montrent que l'efficacité et la performance masticatoire sont affectées par la présence de malocclusions surtout par les occlusions inversées postérieures et antérieures et justifient l'intérêt des enregistrements EMG des muscles masticateurs avant, pendant et après les thérapies orthopédiques afin de contrôler ou d'évaluer leur efficacité. Cette revue de la littérature renforce l'utilité fonctionnelle des traitements orthopédiques pour harmoniser la fonction masticatoire.

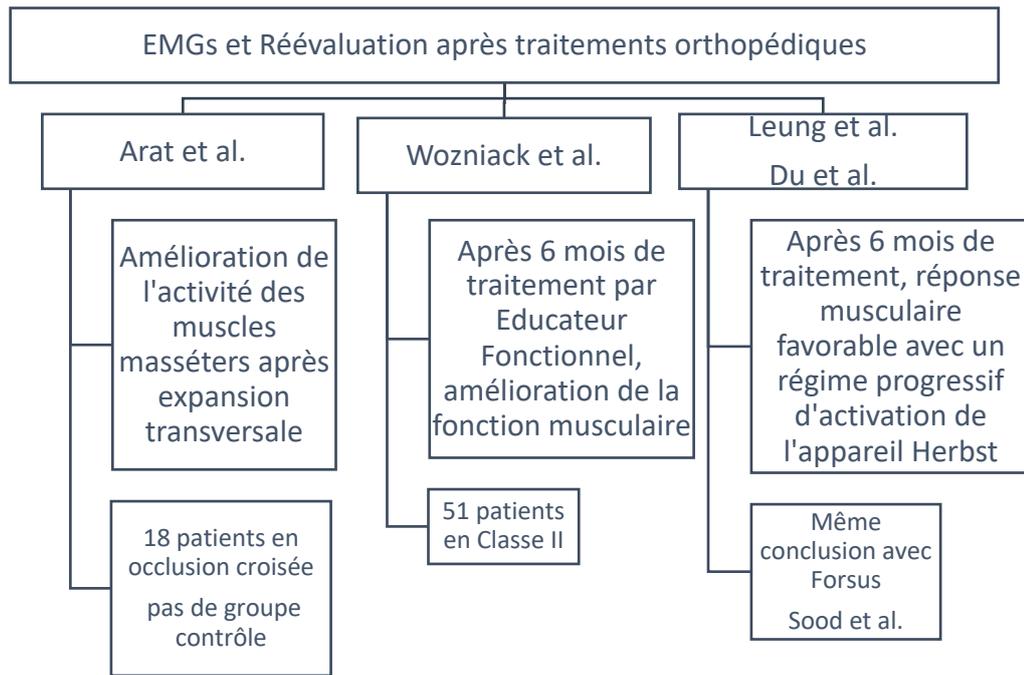


Figure 6 : L'intérêt de l'EMGs dans les réévaluations après traitements orthopédiques

- Concernant **la rééducation** des fonctions (Fig7.):

L'EMGs a sa place pour évaluer les bénéfices et valider les objectifs des rééducations fonctionnelles. La mastication est évaluée avec les enregistrements musculaires en comparant le synchronisme, l'efficacité ainsi que l'activité tonique posturale. Pour ce qui est de la déglutition, l'électromyographie de surface semble apporter un œil nouveau quant au diagnostic et à la rééducation de la déglutition atypique. En effet, la nature de la déglutition des patients pose un problème majeur lors du traitement et surtout pour la stabilité des résultats obtenus (Papé et al. 2012)(36). Concernant **la stabilité** occlusale et musculaire post traitement ; Farronato et al. 2013 (37) ont étudié la stabilité post-orthodontique 4 ans après traitements associés à des chirurgies orthognatiques. L'objectif était de pouvoir réaliser, lors d'une altération des valeurs EMGs, une rééducation post-chirurgicale et donc d'évaluer le succès de celle-ci. Ko et al. 2015 (38) se sont également intéressés à l'activité musculaire masticatoire donnée par l'EMGs chez les patients ayant eu une chirurgie orthognatique avec des résultats stables ou une récurrence occlusale. Le résultat montre qu'une récurrence sagittale est survenue chez des patients présentant une plus grande activité musculaire masticatoire.

Enfin, Zink et Makaremi en 2015 ont réalisé une étude comparative de l'amplitude des mouvements mandibulaires lors de la mastication de la gomme de Chios et d'un chewing-gum Hollywood® à l'aide des capteurs de mouvements tridimensionnels afin de comprendre l'effet réel de la gomme sur la musculature masticatrice. Les exercices consistaient à mastiquer d'une part 1,5g de gomme dure de Chios et d'autre part 1,5g du chewing-gum. L'EMG a mesuré l'activité du masséter. Les résultats ont montré que la mastication de la gomme dure génère une augmentation significative de l'activité musculaire ; avec pour bénéfice une stabilité plus importante du sens transversal en post-traitement (39).

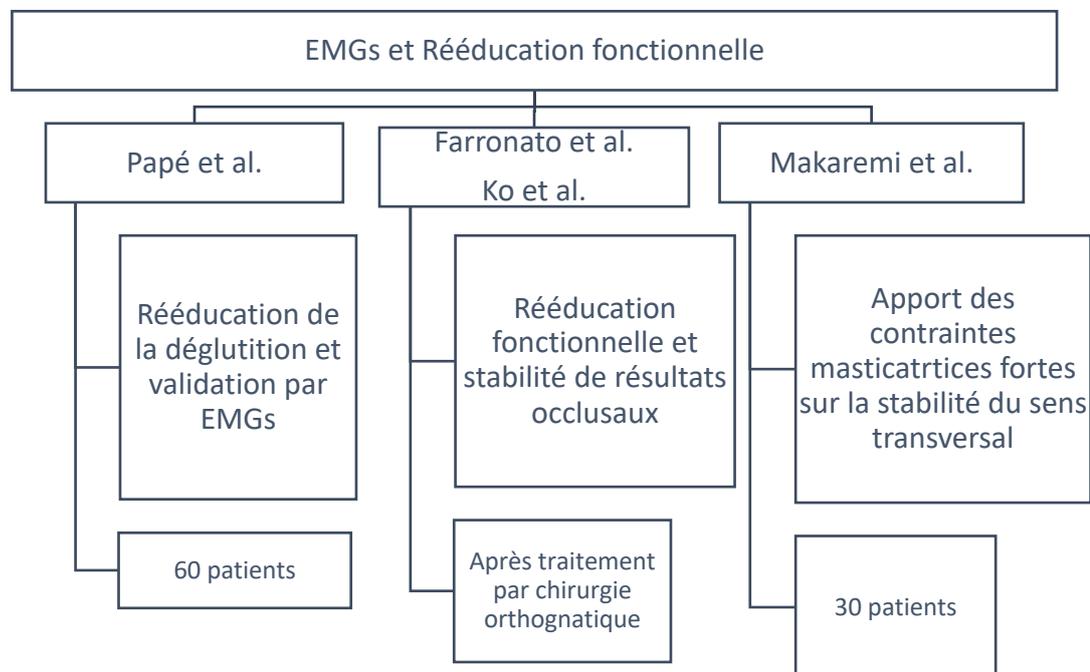


Figure 7 : L'intérêt de l'EMGs dans les rééducations fonctionnelles

L'ensemble des études présentées ci-dessus suggèrent que les altérations des activités EMGs des muscles masticateurs doivent être prises en compte à la fois dans le traitement et dans la stabilité des traitements en orthodontie. Il n'y a actuellement aucune étude française (voire internationale) qui compare les EMGs avant et après dépose du système orthodontique. L'**étude pilote** qui a été réalisée collecte les premiers éléments concernant l'intérêt et les résultats de l'EMGs en post-traitement.

## B. OBJECTIFS

La **stabilité post-orthodontique** dépend de l'équilibre neuromusculaire et fonctionnel du patient (40). La revue de la littérature de 2013 de Wozniak et al. (41) justifie son utilisation, l'électromyographie va permettre de **valider l'intégration fonctionnelle du système neuromusculaire avec l'occlusion** avant et après débaguage, ainsi que lors du contrôle de contention à 3 mois. La réalisation de l'équilibre musculaire à la fin du traitement orthodontique est un **objectif** fonctionnel primordial. En effet, le manque d'équilibre musculaire compromet la stabilité du résultat obtenu (42). L'EMG apporte des données quantitatives et qualitatives objectives, reproductibles et fiables sur l'état fonctionnel des muscles masticateurs des patients en complément de l'examen clinique minutieux (43). L'étude pilote analyse chez 12 patients les enregistrements neuromusculaires avant (**T1**) et après (**T2**) débaguage le même jour puis à 3 mois (**T3**). **L'objectif principal** est d'apprécier l'évolution des différents enregistrements entre T1, T2 et T3 en comparant les résultats obtenus chez le même patient.

Ainsi, le but de ce travail est de savoir quels changements, concernant les enregistrements des EMGs se produisent entre :

- 1- Le temps T1 et le temps T2
- 2- Le temps T1 et le temps T3
- 3- Le temps T2 et le temps T3

**Les objectifs secondaires** auront pour but d'apprécier :

- la comparaison des enregistrements électromyographiques musculaires aux différents temps d'enregistrement avec les valeurs standards
- la comparaison des enregistrements électromyographiques entre les femmes et les hommes.

## II/ Partie II : ÉTUDE PILOTE

### A. MATÉRIELS ET MÉTHODE

#### 1. Collection et qualité des données

Il s'agit d'une étude observationnelle pilote prospective à visée analytique, visant à évaluer les EMGs après traitement actif orthodontique par multi-attache bimaxillaire, réalisée entre le 12 novembre 2019 et le 7 septembre 2020 au sein du CHU de Toulouse Rangueil.

Lorsque les objectifs orthodontiques des sujets inclus sont atteints, la dépose du multi-attache est programmée après explication de l'intérêt de l'EMGs. Le jour de la dépose du système orthodontique, un premier enregistrement EMGs à **T1** est réalisé avant, puis juste après la dépose du système orthodontique (environ 1 heure) le même jour (**T2**). La pose de la contention mandibulaire fixe (fil collé 3-3) et l'empreinte pour la contention maxillaire sont réalisées avant T2. Par la suite, lors du rendez-vous de suivi post-orthodontique à T1 +3mois, un nouveau enregistrement EMGs est réalisé (**T3**). Le protocole de l'étude suit **6 étapes (Fig. 8)**.

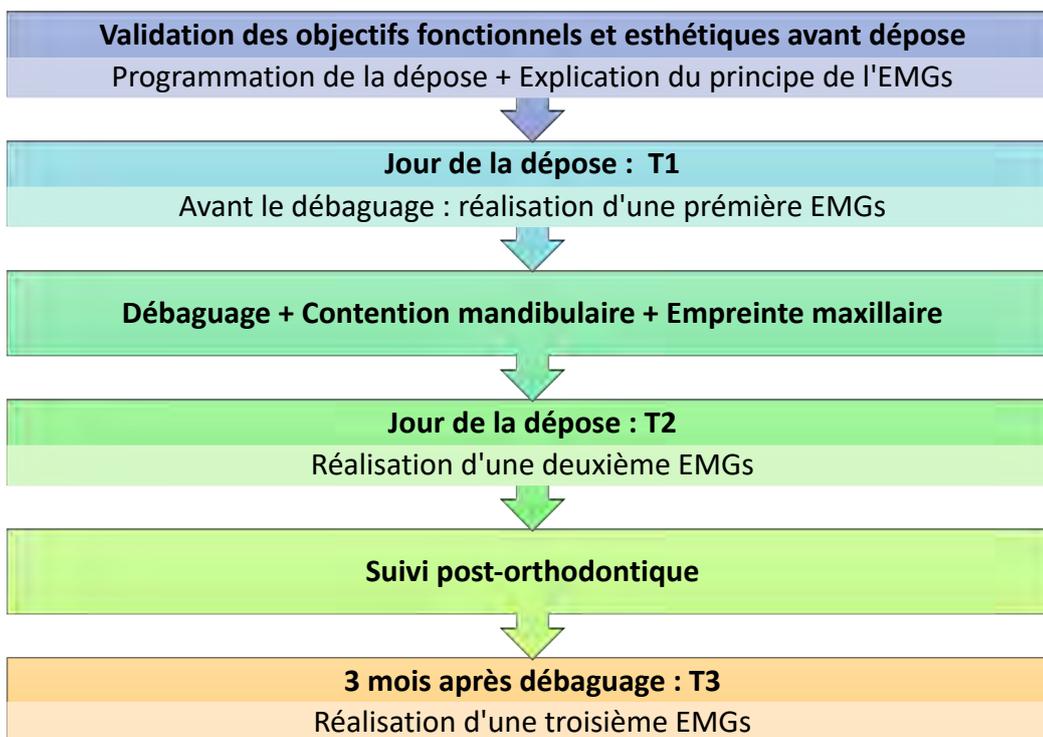


Figure 8 : Protocole de l'étude

Pour harmoniser l'enregistrement des signaux électromyographiques réalisé chez les participants, les **directives européennes d'électromyographie de surface pour l'évaluation musculaire non invasive SENIAM** (Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles)(44)(45) basées sur une revue de littérature publiée en 2000 et complétées en 2007 (46) par Merletti et Hermens ont été suivies ; pour la préparation de la peau, pour la position du patient, le type de capteurs et le placement de ces derniers.

Des électrodes bipolaires argent / chlorure d'argent jetables, adhésives et pré-gélinifiées (DuoTrode; Myo-Tronics Inc., Seattle, WA, USA) ont été utilisées, avec un diamètre de 10 mm et une distance inter-électrodes de 21 +/- 1 mm. Ces électrodes de surface bipolaires ont été positionnées sur les ventres musculaires parallèlement aux fibres musculaires; l'électrode neutre a été placée dans la cavité supra-claviculaire. Pour réduire l'impédance cutanée, la peau a été soigneusement nettoyée avant le placement des électrodes et dégraissée avec de l'alcool à 90 °. Aucun maquillage, aucune crème et aucune barbe n'étaient autorisés. Lors de l'acquisition du signal, les patients sont restés confortablement assis sur une chaise avec support dorsal, sans support pour la tête ni pour les membres supérieurs dans un endroit calme. La procédure de placement des électrodes dans le protocole de recherche comprend **6 étapes** (Fig.10).

Le signal EMG analogique a été amplifié, numérisé et filtré numériquement à l'aide de l'amplificateur myotronique K7 sEMG (Fig. 9). L'acquisition et le stockage des données ont été effectués par le logiciel K7 (version 7.2 pour Windows) avec utilisation d'un amplificateur de « myotronics ; K7 sEMG ». Au cours de l'acquisition du signal, le patient n'a aucune visibilité sur l'écran de l'ordinateur et a reçu avant chaque examen toutes les instructions et informations nécessaires concernant l'équipement et les mouvements à effectuer.



Figure 9 : Matériels myotronics K7 sEMG

<b>Sélection du capteur SEMG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Électrodes de surface bipolaires de type Ag/AgCl, 10 mm de diamètre et distance inter-électrode de 21+/-1mm (DuoTrode ; Myo- Tronics), adhésifs, jetables, pré-gélifiés</li> </ul>
<b>Préparation de la peau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peau nettoyée (pas de maquillage, pas de crème) et dégraissée à l'alcool à 90°, pas de barbe</li> <li>• Objectif : Réduire l'impédance cutanée et obtenir des signaux de bonne qualité</li> </ul>
<b>Positionner le patient dans une posture de départ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les sujets sont confortablement assis sur une chaise avec dos soutenu, les mains posées sur les cuisses, jambes décroisées, tête dressée non soutenue et regard à l'horizon.</li> <li>• L'examineur doit lui même être détendu afin de relaxer son patient.</li> </ul>
<b>Déterminer la position du capteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les électrodes sont placées parallèlement le long des fibres des muscles et au milieu de leurs corps musculaires (en s'aidant de la palpation); la prise terre est placée dans le creux sus-claviculaire.</li> <li>• Limiter les phénomènes de cross-talk (enregistrement de muscle à proximité de la zone étudiée).</li> </ul>
<b>Placement et fixation du capteur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En regard des muscles étudiés, parallèlement aux fibres musculaires, en regard de leur corps musculaire.</li> <li>• L'électrode neutre est placée au niveau de la clavicule</li> <li>• Fig.8</li> </ul>
<b>Test de la connexion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un test peut être effectué afin de valider la position et la connexion des électrodes de l'équipement.</li> </ul>

Figure 10 : Protocole de placement des électrodes

L'étude pilote s'intéresse aux 4 groupes musculaires définis par Rasch et Burke (47) (Annexe 1); leur implication lors du mouvement physiologique mandibulaire est fondamental. Les muscles étudiés par l'étude pilote sont superficiels, accessibles à la palpation et au positionnement des capteurs placés sur le revêtement cutané ; le caractère non sélectif des électrodes limite leur utilisation à détecter les signaux uniquement des muscles situés près de la peau. Ainsi, sont étudiés ; les muscles masséters et les fibres antérieures des muscles temporaux (agonistes élévateurs), les ventres antérieurs des digastriques (muscles antagonistes abaisseurs) et les sterno-cléïdo-occipito-mastoïdiens (SCOM) (stabilisateurs transversaux) (Fig.11). La bonne connaissance de l'anatomie et de la physiologie musculaire ainsi que de leur innervation est indispensable pour le bon positionnement des électrodes ainsi que pour effectuer une mesure de l'activité musculaire fiable et interprétable (48)(49) (Annexe 2).

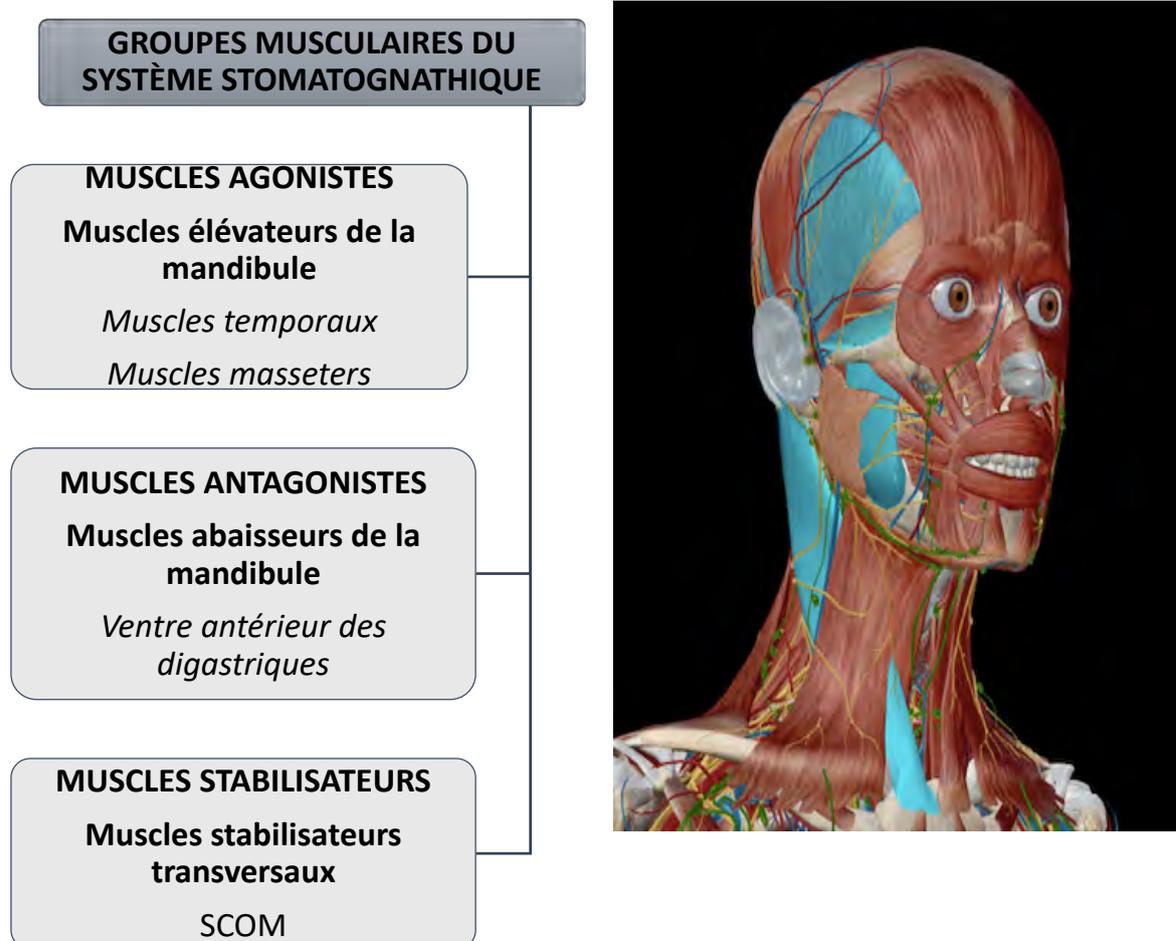


Figure 11 : Groupes musculaires du système stomatognathique

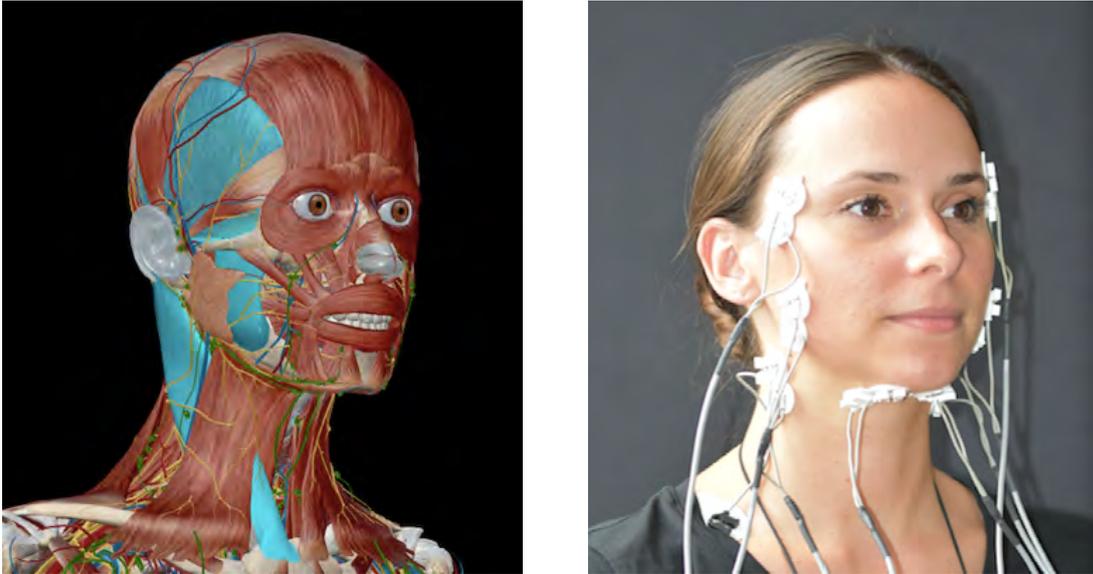


Figure 12 : Placement des électrodes pendant le protocole

Les données de l'interrogatoire et de l'examen clinique sont essentielles à recueillir avec le maximum de précision avant d'interpréter les résultats électromyographiques. Le protocole d'examen neuromusculaire **MAC<sup>1</sup> (Muscular Activity - MAC 1)** a été utilisé dans l'étude (50). **Objectifs** : Réaliser de façon chronologique, 3 différents scans enregistrés au cours de l'EMGs en vue d'une analyse instrumentale précise du fonctionnement de l'appareil manducateur grâce aux instructions données au patient (Fig. 13).

#### **Muscular ACTivity - MAC 1 :**

- **MAC 1 / Le tonus musculaire Scan 9 :**

Pour analyser l'activité de repos mandibulaire qui est la première phase de l'occlusion. Le maintien de la posture est assuré par le tonus musculaire, état de légère tension isométrique, involontaire et permanente des muscles au repos (51). Le tonus assure la cohésion des différentes parties du corps et le maintien des équilibres statiques. Pour Cram repris par Jankelson, l'activité de repos normal du temporal se situe entre 2 à 2,5  $\mu$ V et 1,5 à 2  $\mu$ V pour le masséter (52)(53). Il n'y a pas eu de différences yeux ouverts / yeux fermés chez l'ensemble des participants sur le scan 9, le facteur postural oculomoteur n'influençant pas les résultats, les examens se sont poursuivis les yeux ouverts.

- **MAC 2 / La synchronicité de contraction des temporaux et des masseters** Scan 12 :

Pour enregistrer l'ordre d'activation des premières unités motrices lorsque la mandibule se déplace de la position de repos jusqu'au contact initial des dents (Scan 12 sur le logiciel fourni par Myotronics). Le protocole d'enregistrement du Scan 12 consiste à demander au patient de se détendre (position de repos) puis de serrer progressivement les dents bilatéralement jusqu'à l'occlusion active d'intercuspidation maximale avec contraction musculaire isométrique. Pour l'analyse du Scan 12, l'option d'analyse visuelle est utilisée. La contraction synchrone des temporaux et des masséters est recherchée pour une occlusion bilatéralement équilibrée et fonctionnelle.

- **MAC 3 / L'efficacité de contraction** Scan 11 :

Pour analyser la force développée lors de la contraction isométrique musculaire. Le patient serre puis desserre les dents plusieurs fois sans et avec des rouleaux de Celuron® (cotons salivaires) légèrement humidifiés interposés entre les arcades qui shuntent les contacts dentaires.

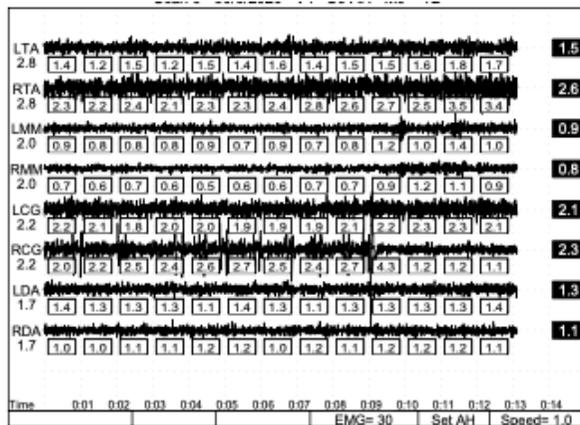
MAC 1 <b>Le Tonus musculaire</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour enregistrer <b>l'activité de repos</b> mandibulaire de chaque muscle, le patient est détendu, ne serre pas sur ses dents et la mandibule est en position de repos physiologique. Le signal visualisé donne le tonus de repos des muscles enregistrés. Scan 9</li></ul>
MAC 2 <b>La Chronologie de contraction</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour enregistrer <b>les temps de réaction de l'activité musculaire et le synchronisme</b>, le praticien demande au patient de serrer progressivement les dents de la position de repos mandibulaire à la contraction maximale de serrement (contraction isotonique, puis isométrique). La mise en activité plus précoce d'un muscle avant les autres est rapidement visible sur cet enregistrement. Scan 12</li></ul>
MAC 3 <b>La Force de contraction (efficacité)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour enregistrer <b>l'activité musculaire en contraction isométrique</b>, le patient serre puis desserre les dents plusieurs fois à la demande du praticien. Le signal quantifie la force de la contraction. Scan 11</li></ul>

Figure 13 : Protocole MAC<sup>1</sup> (Muscular ACTivity - MAC 1)

## MAC<sup>1</sup> – Muscular Activity

### MAC1 (scan9)

Tonus musculaire (tension au repos)  
*masséters, temporaux, SCOMs, digastriques*

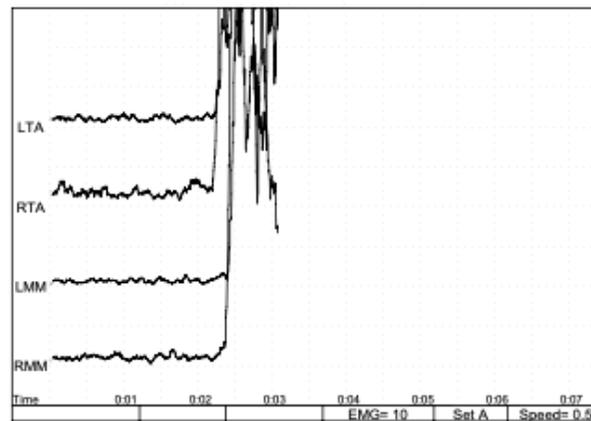


### Commentaires :

Chaque muscle à une activité minimale au repos (pour résister à la gravité).  
Les normes pour chaque muscle sont indiquées en  $\mu\text{V}$  à gauche du scan.

### MAC2 (scan 12)

Chronologie de contraction (synchronisme)  
*masséters, temporaux*

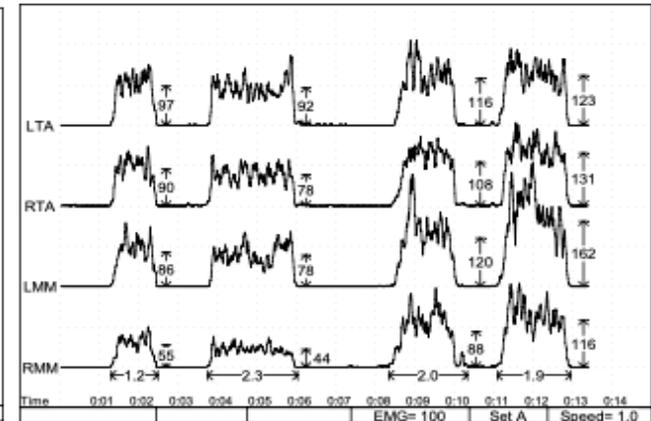


### Commentaires :

Étude chronologique de la contraction. La contraction isométrique des muscles élévateurs de la mandibule doit être simultanée avec un recrutement suffisant des unités motrices de chaque muscle.

### MAC3 (scan 11)

Force de contraction (efficacité)  
*masséters, temporaux*



### Commentaires

La capacité d'un muscle à se contracter au maximum. La position mandibulaire d'ancrage optimal se réalise avec une contraction la plus efficace possible des muscles élévateurs de la mandibule.

## 2. Description de l'échantillon étudié

### Critères d'éligibilité

Critères d'inclusion	Critères de non-inclusion	Critère d'exclusion
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Classe I d'Angle canine</li> <li>-Patients porteurs d'un appareil multibague bimaxillaire</li> <li>-Autorisation de soin pour les mineurs</li> <li>-Patients dont les objectifs orthodontiques fonctionnels, occlusaux et esthétiques de fin de traitement ont été validés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Non coopération</li> <li>-Patients ayant une barrière à la compréhension des exercices donnés</li> <li>-Traitement jugé inachevé par les internes et les encadrants du service (débaguage sous décharge)</li> <li>-Patients présentant des agénésies (hors dents de sagesse) ou des fentes labio-maxillo-palatines</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Réalisation de réhabilitations prothétiques ou implanto-prothétiques entre T1 et T3</li> <li>-Réalisation de soins conservateurs modifiant les rapports occlusaux chez le patient entre T1 et T3</li> <li>-Remplacement de prothèse après débaguage entre T1 et T3</li> </ul>

Aucune sélection n'a été faite concernant le type de dysmorphose, la quantité initiale d'encombrement, le choix éventuel d'extractions ou d'intervention chirurgicale . Les patients ayant recours à des soins de prothèses ou des soins conservateurs entre T1 et T3 susceptibles de modifier les rapports occlusaux doivent être exclus. Ce critère **limite les biais de confusion** ; pour que les différences observées entre les EMGs soient imputables aux seuls réaménagements occlusaux post-orthodontiques.

En effet, Wang et al. en 2009 (54) ont montré que des modifications occlusales ont une influence sur l'activité électromyographique des muscles élévateurs chez les hommes et les femmes en bonne santé ; d'après cette étude l'activité musculaire donnée par les enregistrements EMGs des 47 participants sains a été statistiquement différente après changements des contacts occlusales.

## Caractéristiques de l'échantillon étudié

Après application des critères d'inclusion et d'exclusion, l'échantillon comporte 12 patients dont 6 femmes et 6 hommes (50%/50%) dont la moyenne d'âge est de  $19 \pm 8,54$  ans. Les garçons et les filles ont été regroupés dans le même échantillon. Les caractéristiques des sujets en fonction de la malocclusion initiale, le type et le temps de traitement sont résumées dans le Tableau 2 et détaillées en Annexe 3.

<u>MALOCCLUSION</u>	<u>DYSMORPHOSE</u>			<u>NOMBRE DE SUJETS</u>
	<u>AVEC EXTRACTION</u>	<u>SANS EXTRACTION</u>	<u>CHIRURGIE</u>	
<b>CLASSE I</b>	0	2	0	2
<b>CLASSE II</b>	4	5	1	
<b>CLASSE III</b>	0	0	0	0
<i>TOTAL</i>				12

*Tableau 2 : Caractéristiques des participants*

Le suivi des patients est effectué sur une période de 3 mois avec 3 temps de prélèvements :

- T1 : Le jour du débaguage, avant la dépose du multi-attache;
- T2 : Le jour du débaguage, après dépose du multi-attache et collage de la contention 3-3 mandibulaire ;
- T3 : 3 mois après dépose

Entre les temps T1 et T2 aucun patient n'a été perdu de vue. Cependant, à T3, un patient a été perdu de vue et 1 autre patient n'a pas eu d'enregistrement musculaire (car il portait une barbe le jour du rendez-vous). Dans cette pré-étude, aucun participant n'a été exclu.

## **Faisabilité et modalité de recrutement**

Le recrutement des participants se fera en consultation dans le service d'odontologie du CHU de Toulouse Rangueil. Tous les internes en orthodontie pourront recruter les participants.

La programmation du débagueage est validée par le praticien référent du suivi du traitement orthodontique du patient, selon les critères d'aboutissement du traitement orthodontique de l'HAS 2003 (55).

L'électromyographie de surface est réalisée par un même opérateur sous la surveillance de 2 opérateurs différents qui utilisent le même protocole.

### 3. Analyse statistique

Les données recueillies ont été anonymisées et compilées sur un tableur Microsoft Excel®. Leur analyse a été effectuée grâce aux logiciels Stata v.13® et GraphPad Prism 5®. Les variables ont été comparées selon le temps de relevé (avant débagueage, après débagueage puis à trois mois) ainsi que selon le sexe. Des tests non paramétriques de Mann-Whitney Wilcoxon et de Fisher ont été appliqués pour les variables respectivement quantitatives et qualitatives au seuil de significativité de 5%.

## B. RÉSULTATS

### 1. Comparaison avant (T1) et après débague (T2)

	n	Avant	n	Après	p
LTA PR	12	4,12 ± 1,8	12	2,57 ± 0,98	<b>0,02</b>
RTA PR	12	4,71 ± 2,18	12	2,34 ± 1,19	<b>0,003</b>

Tableau 3 : Enregistrements musculaires électromyographiques avant/après débague

Les résultats comparant les enregistrements électromyographiques musculaires entre T1 et T2 sont présentés sous forme de tableau en Annexe 3. Les potentiels de repos des temporaux (droit et gauche) sont les seuls à être significativement différents entre la première et la seconde mesure ( $p < 0,02$  pour les temporaux gauches et  $p < 0,003$  pour les temporaux droits)(Tab.3). Avec une tendance à la diminution vers la norme établie ( $2,8 \mu V$ ). Aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les efficacités des élévateurs avant et après débague.

### 2. Comparaison avant débague (T1) et à 3 mois (T3)

	n	Avant	n	A 3 mois	p
LTA Eff Moy T2	12	63,31 ± 29,33	10	110,65 ± 45,87	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T3	12	65 ± 24,25	10	118,03 ± 49,66	<b>0,002</b>
RTA Eff Moy T3	12	63,46 ± 21,15	10	112,21 ± 54,3	<b>0,01</b>
RMM Eff Moy T3	12	85,96 ± 50,54	10	145,85 ± 89,88	<b>0,04</b>
Contraction symétrique des temporaux	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99
Contraction symétrique des masséters	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99

Tableau 4 : Enregistrements électromyographiques musculaires à T1 et à T3

Les résultats comparant les enregistrements électromyographiques musculaires entre T1 et T3 sont présentés sous forme de tableau en Annexe 4. Aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les tonus de repos avant débague et à 3 mois. Tendance générale à la hausse des efficacités des muscles à 3 mois avec des différences statistiquement significatives retrouvées pour les masséters droits (au 3<sup>ème</sup> temps)( $p<0,04$ ), les temporaux droits (au 3<sup>ème</sup> temps)( $p<0,01$ ) et les temporaux gauches (au 2<sup>ème</sup> et au 3<sup>ème</sup> temps)( $p<0,01$  et  $p<0,002$ ). 3 mois après la dépose, 100% des patients ont une contraction synchrone des muscles élévateurs (Tab.4).

### 3. Comparaison après débague (T2) et à 3 mois (T3)

	n	Débague	n	A 3 mois	p
LMM PR	12	1,86 ± 0,72	10	2,45 ± 0,76	<b>0,03</b>
LTA Eff Moy T1	12	57,08 ± 32	10	102,01 ± 49,3	<b>0,02</b>
LTA Eff Moy T2	12	60,37 ± 34,75	10	110,65 ± 45,87	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T3	12	65,99 ± 34,06	10	118,03 ± 49,66	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T4	12	64,13 ± 34,78	10	108,74 ± 38,7	<b>0,01</b>
RTA Eff Moy T1	12	61,76 ± 32,08	10	99,13 ± 44,23	<b>0,03</b>
RTA Eff Moy T2	12	62,54 ± 27,11	10	100,23 ± 48,04	<b>0,047</b>
Contraction symétrique des temporaux	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99
Contraction symétrique des masséters	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99

Tableau 5 : Enregistrements électromyographiques musculaires à T2 et à T3

Les résultats comparant les enregistrements électromyographiques musculaires entre T2 et T3 sont présentés sous forme de tableau en Annexe 5. Le tonus de repos des masséters gauches est le seul à être significativement différent entre la seconde et la troisième mesure ( $p<0,03$ ). Tendance générale à la hausse des efficacités des muscles à 3 mois avec des différences statistiquement significatives retrouvées pour les temporaux gauches sur toutes les efficacités demandées au patient ; au 1<sup>er</sup> temps ( $p<0,02$ ), au 2<sup>ème</sup> temps ( $p<0,01$ ), au 3<sup>ème</sup> temps ( $p<0,01$ ) et au 4<sup>ème</sup> temps ( $p<0,01$ ) et pour les temporaux droits concernant les efficacités demandées au 1<sup>er</sup> temps ( $p<0,03$ ) et au 2<sup>ème</sup> temps ( $p<0,047$ ). 100% de la cohorte étudiée présente des contractions synchrones des masséters et des temporaux à 3 mois (Tab.5).

4. Comparaison des enregistrements électromyographiques musculaires aux différents temps d'enregistrement comparés aux valeurs standards

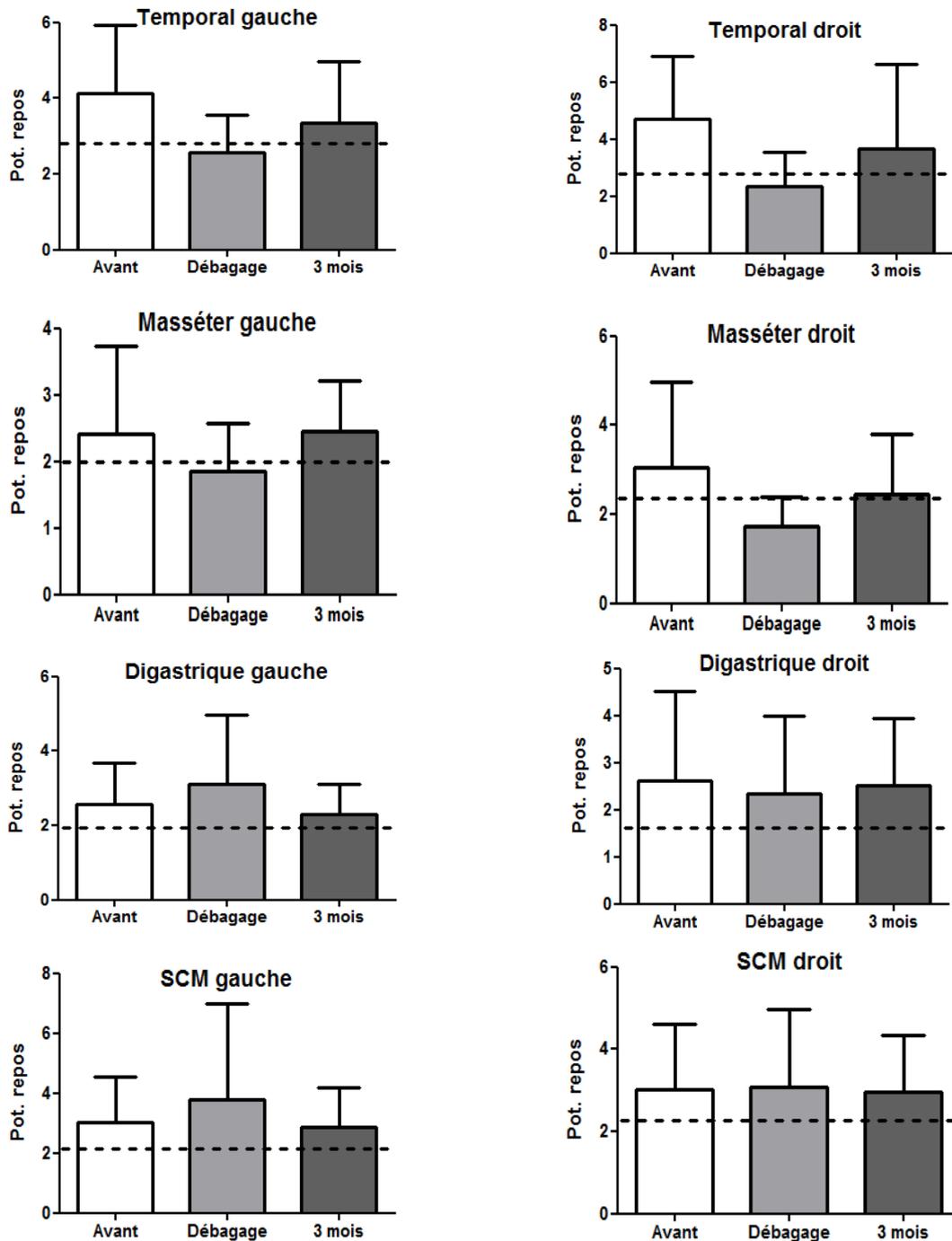


Figure 14 : Tonus de repos comparés à la norme

Les tonus de repos des muscles étudiés n'ont pas mis en évidence de différences avec la norme (Fig.14). Les valeurs standards des tonus de repos des muscles temporaux, masséters, SCOM et digastriques sont respectivement; 2,8  $\mu$ V, 2  $\mu$ V, 2,2  $\mu$ V et 1,7  $\mu$ V.

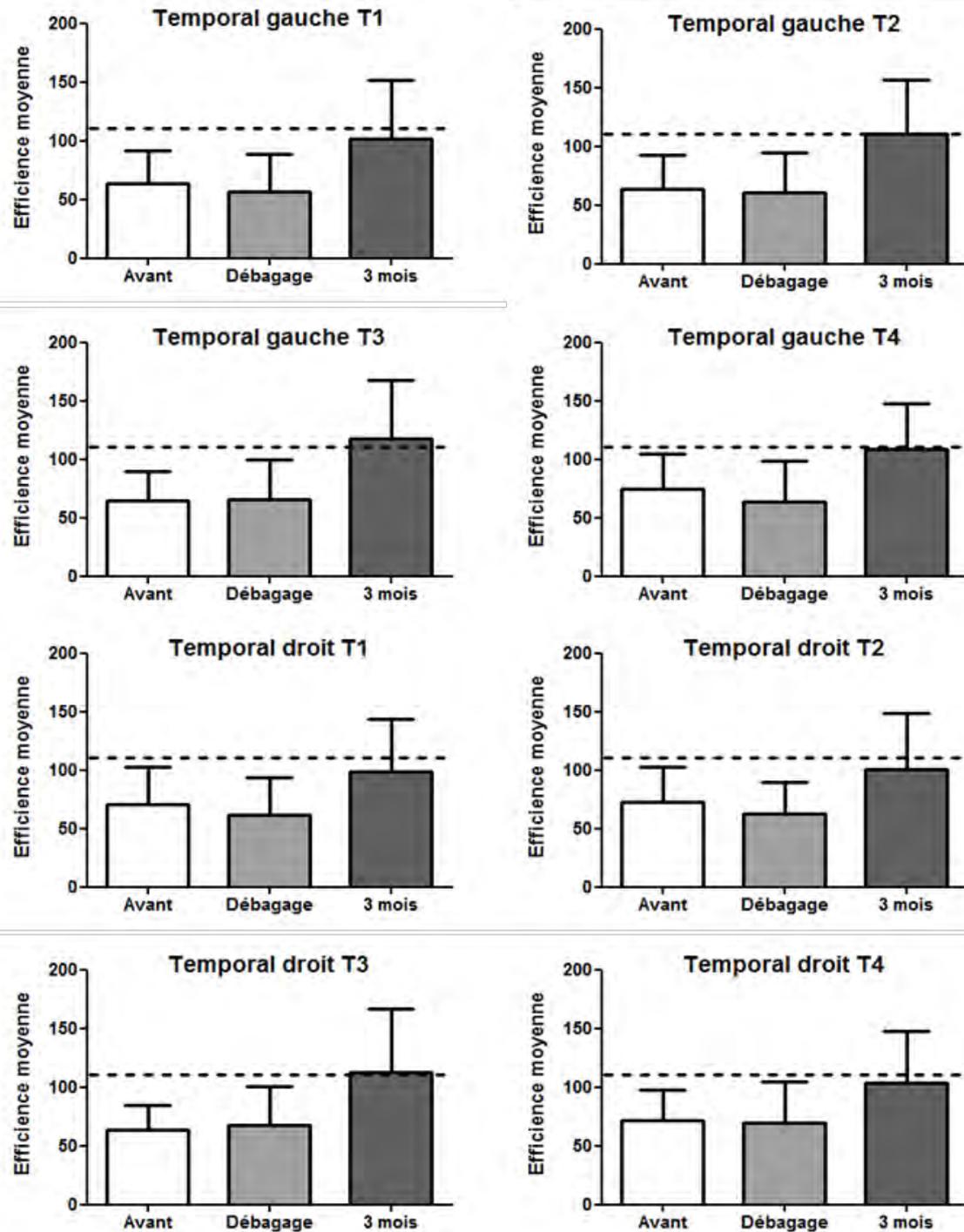


Figure 15 : Les efficacités des temporaux versus la norme

Seules les efficacités des temporaux avant et après débague sont différentes et inférieures à la norme (contraction moyenne = 110  $\mu$ V). A trois mois, il n'y a aucune différence qui n'a été mise en évidence avec la norme. Une tendance à la hausse des valeurs des efficacités est retrouvée de T1 à T3 (Fig. 15).

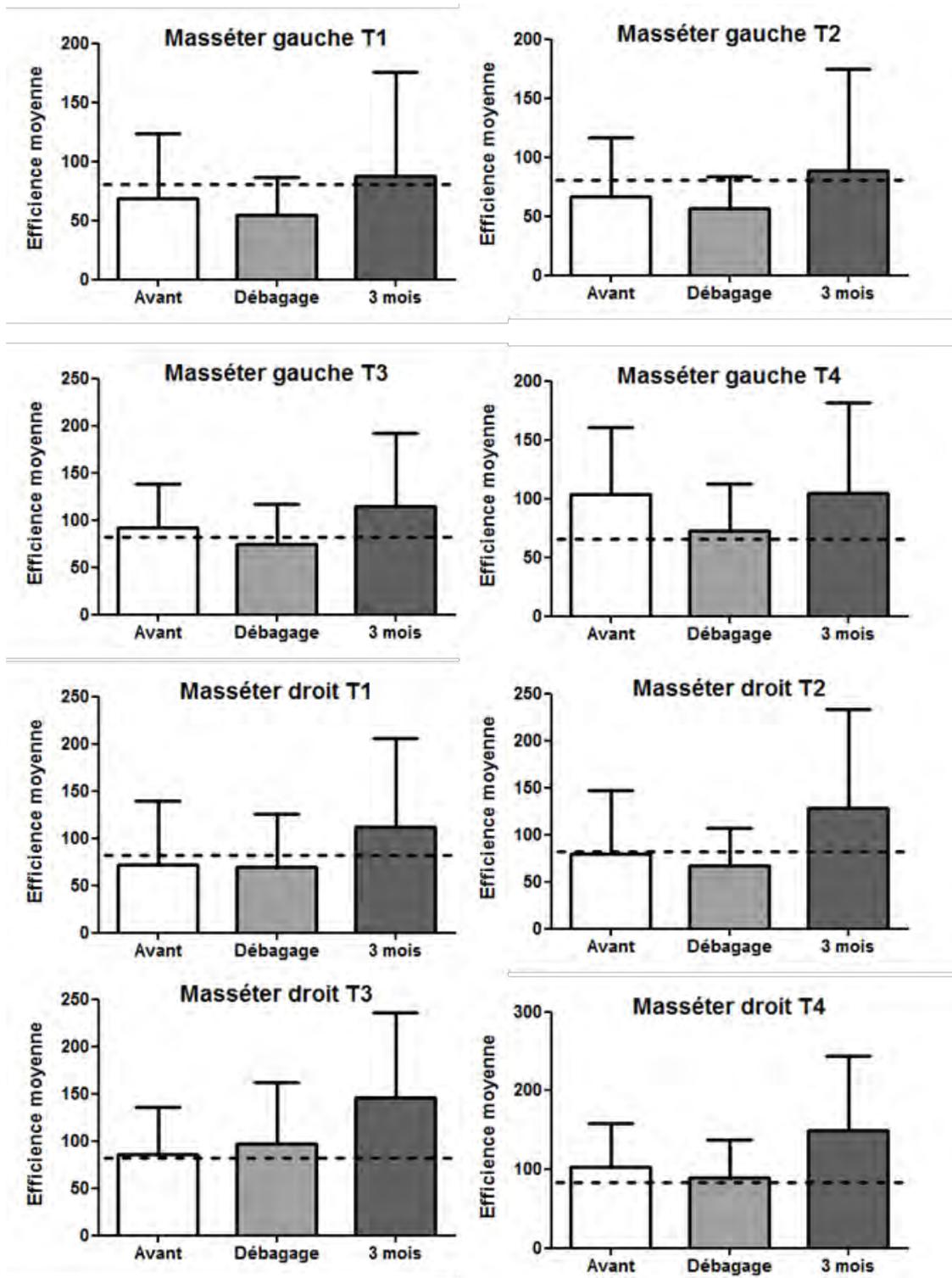


Figure 16 : Les efficacités des masséters versus la norme

Il n'y a pas de différence mise en évidence avec la norme entre les différents temps d'enregistrement concernant les efficacités des masséters (contraction moyenne = 82  $\mu$ V). Une tendance à la hausse des valeurs des efficacités est retrouvée de T1 à T3 (Fig.16).

## 5. Comparaison des enregistrements électromyographiques entre les femmes et les hommes

Les résultats comparant les enregistrements musculaires entre les femmes et les hommes sont présentés sous forme de tableau en Annexe 6. Aucune différence statistiquement significative n'a été retrouvée entre les femmes et les hommes concernant les tonus de repos. Il y a des différences statistiquement significatives notables sur les efficiences musculaires ; plus élevées chez les hommes que chez les femmes (Fig.17).

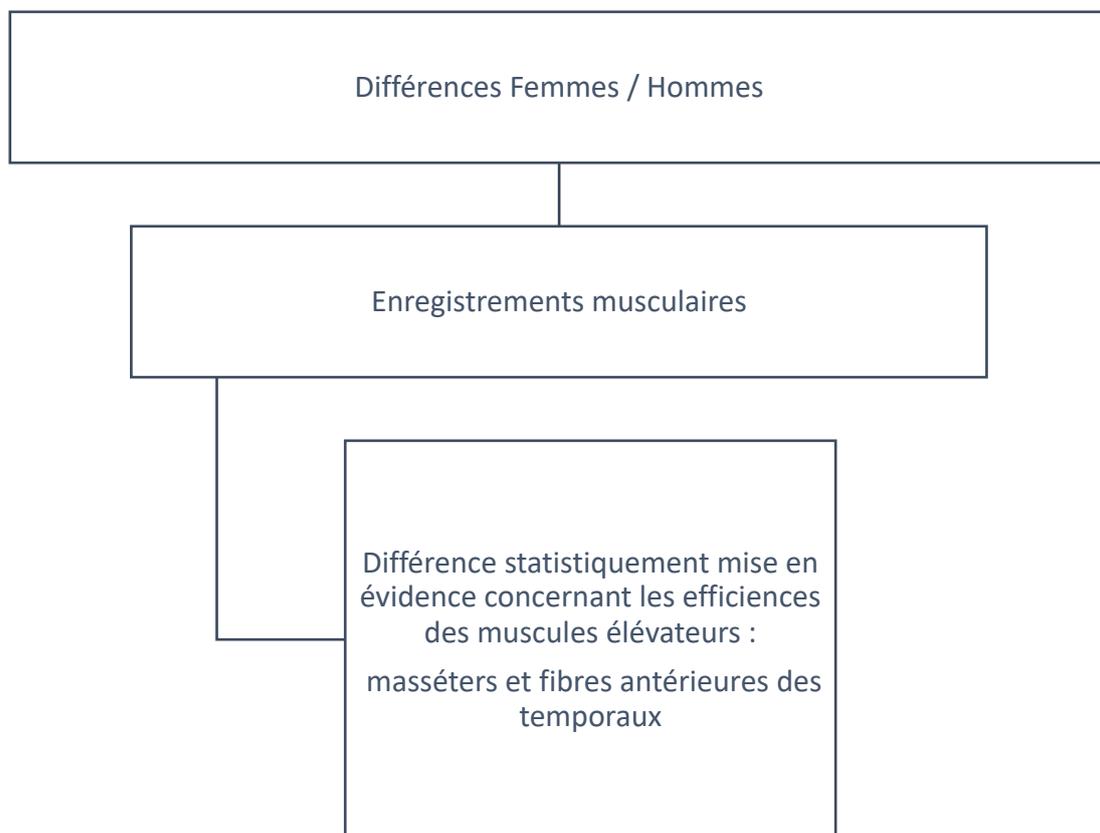


Figure 17 : Comparaison des enregistrements électromyographiques Femmes / Hommes

## 6. Synthèse des résultats

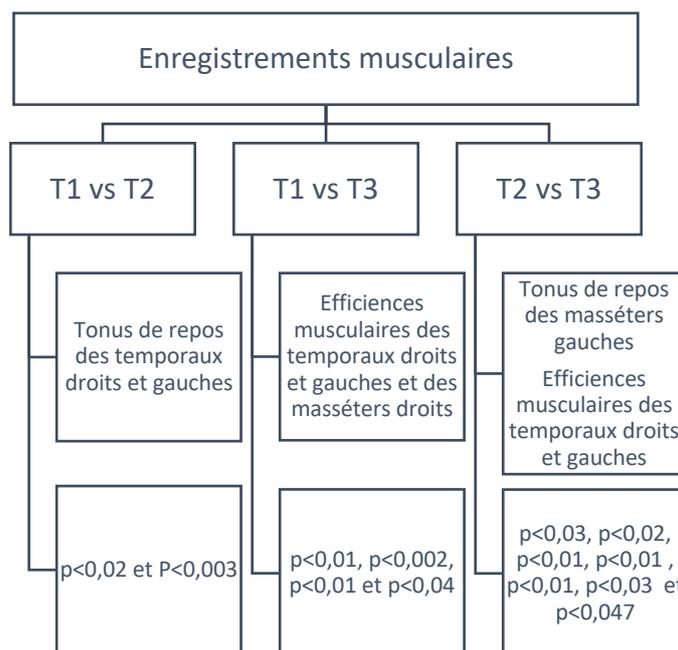


Figure 18 : Résultats des comparaisons des enregistrements électromyographiques

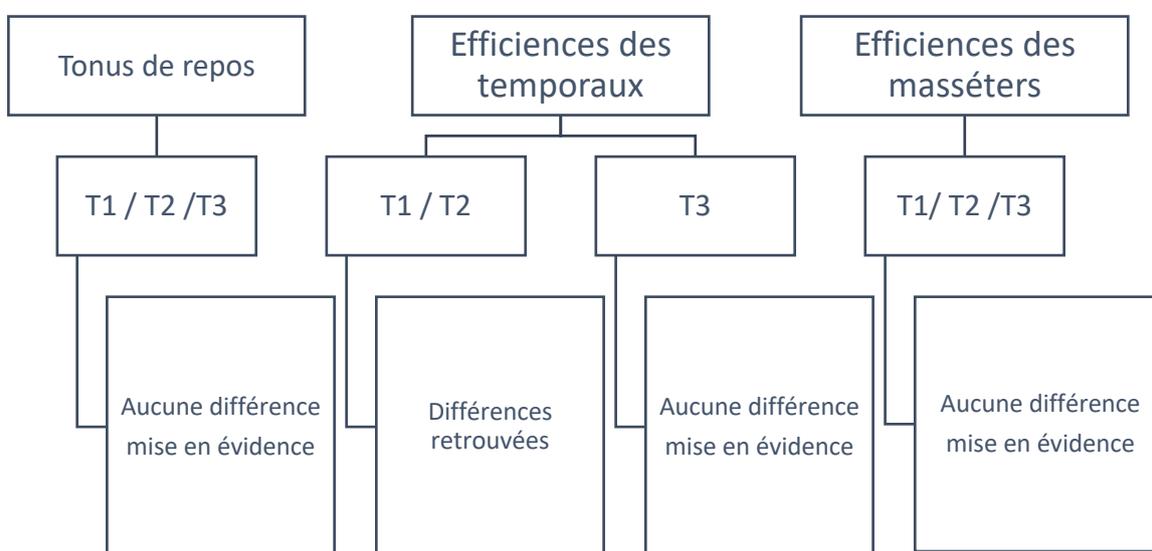


Figure 19 : Résultats des enregistrements électromyographiques musculaires comparés à la norme

## C. DISCUSSION

### 1. Matériels et méthode

Cette étude est la première du genre à voir le jour et comme toute pré-étude, celle-ci est à développer. L'**échantillon** est petit sans calcul d'effectif et rend donc l'étude non représentative. La poursuite de cette étude est intéressante en augmentant la taille de l'échantillon et en prolongeant la période de suivi afin de confronter les résultats statistiquement retrouvés à ceux de la littérature. Même si la sélection des sujets et la méthodologie sont fortement discutables, cette étude a permis de corroborer un certain nombre de données qui pourront être utilisées pour de futures expérimentations.

**Les caractéristiques des patients:** La validité de l'occlusion finale avant débagueage a été guidée selon les recommandations de l'HAS (55). D'après les critères d'aboutissement du traitement d'orthopédie dento-faciale, les concepts occlusaux classiques, essentiellement décrits en thérapeutique prothétique, n'ont pas démontré leur validité en orthodontie. Il existe une multitude d'occlusions possibles non pathogènes et efficaces. L'occlusion de classe I canine et molaire est considérée comme la cible orthodontique, en termes d'esthétique et de fonctionnalité (56). Sur les 12 participants, 2 patients ont une occlusion de Classe II molaire thérapeutique de fin de traitement. Lorsqu'elle est associée à une Classe I canine et un guide antérieur fonctionnel, une occlusion de Classe II molaire thérapeutique équilibrée est non traumatogène, cependant ceci constitue un biais de sélection car les patients de la cohorte étudiée n'ont pas la même occlusion de fin de traitement. De plus, si le choix d'une occlusion de Classe II molaire a été retenu ; il est recommandé d'adapter, par coronoplastie, la morphologie occlusale afin d'éviter les interférences et ceci n'a pas été réalisé dans l'étude pilote (57).

Les participants de l'étude ont plusieurs types de **contention maxillaire** : 5 gouttières thermoformées, 1 plaque de Hawley et 4 ELN. Or pour certains la plaque de Hawley permet des mouvements verticaux relatifs des dents postérieures avec une augmentation statistiquement significative des contacts occlusaux alors que les gouttières thermoformées maintiennent les dents dans leur position de débagueage et empêcheraient le réaménagement occlusal (58). Une harmonisation du choix des contentions aurait été préférable pour comparer les enregistrements électromyographiques entre les patients.

Le groupe étudié comporte 2 patients en Classe I squelettique, 10 patients en Classe II squelettique et aucun patient en Classe III, ce qui constitue un biais de sélection. En effet les effectifs sont trop faibles pour pouvoir catégoriser les patients dans différentes Classes squelettiques. D'après de nombreuses études, les résultats EMGs sont modifiés par le morphotype squelettique sagittal et vertical du patient. D'après Cha et al. 2007 (59), les résultats EMGs sur 106 patients ont montré des différences significatives selon les types squelettiques sagittal et vertical, conclusion similaire rapportée par Tecco et al. 2007 (60) et Merletti et al. (61), qui concluent que la position de repos mandibulaire des masséters et des muscles temporaux est significativement plus élevée chez les sujets en classe III squelettique que chez les sujets en classe I et II squelettique, qui n'ont montré aucune différence statistiquement significative entre eux. Il en est de même pour la typologie squelettique verticale, les patients hyperdivergents ont une efficacité musculaire moindre par rapport aux hypodivergents d'après Proffit et al. (62) même conclusion sur la typologie verticale rapportée par Ueda et al.(63). D'après la littérature, la typologie squelettique verticale semble avoir plus d'impact sur les résultats des enregistrements électromyographiques (d'après Ciccone de Faria et al. (64)).

**La fiabilité du protocole de recherche** reproductible sera réutilisée afin de réaliser des nouveaux EMGs chez les mêmes participants à 6 mois et 1 an. En effet, **la fiabilité des EMGs** dépend de nombreux facteurs (65) :

- les électrodes : placement, orientation, distance, localisation
- l'opérateur : expérience
- le patient : posture physique et psychologique

La comparaison des signaux électromyographiques entre les participants est compliquée. En effet, les travaux de Castroflorio (66)(67) et de Im et al. (2017)(68) ont montré des différences observées selon **les sites d'enregistrement** et **les facteurs biologiques** mais également des différences intra et inter-examineur. Pour cette raison et dans le but d'harmoniser le protocole de la pré-étude, la procédure «standardisée» issue **des directives européennes SENIAM** a été suivie à la lettre afin que tous les signaux EMG soient rendus équivalents entre les participants. Lors de l'étude, la fiabilité de la procédure a été optimisée d'une part, en utilisant des bi-électrodes dont la distance inter-électrode est standardisée et d'autre part en gardant le positionnement des électrodes entre T1 et T2. À

chaque rendez-vous les mêmes repères anatomiques ont été utilisés. Lorsque la procédure est menée consciencieusement, l'EMG serait aussi fiable que l'EMG intra-musculaire et cliniquement reproductible (travaux de Ohmori et al. 2009 (69) et Bothelho et al. 2011) (29). En effet, la sensibilité et la sélectivité de EMGs sont presque les mêmes que celles fournies par les EMG intramusculaires. Il permet également l'analyse d'une seule Unité Motrice et donne des informations sur la vitesse de conduction des fibres musculaires (65)(70).

## 2. Comparaison des résultats avec la littérature

La tension **de repos** des masséters gauches est le seul à être significativement différent entre la seconde et la troisième mesure ( $p < 0,03$ ) ; il peut correspondre à une erreur de mesure ou à une variation intra-individuelle ; l'étude doit être réalisée à plus long terme et à plus grande échelle pour pouvoir donner une explication à ce résultat. Il n'y a pas eu de relaxation musculaire au préalable. Or, **le moment de l'enregistrement électromyographique** au cours de la journée peut également modifier les résultats et donner **un biais de mesure**. En effet, les contacts occlusaux changent pendant la journée (maximum le matin) et sont influencés par l'état physique des muscles masticateurs et par l'état émotionnel du patient. L'activité musculaire est maximale et mieux coordonnée le matin et, à contrario elle est réduite et moins coordonnée le soir après les activités physiques et mentales de la journée : on observe donc une diminution quantitative et qualitative des contacts occlusaux au cours de la même journée. Ainsi les enregistrements devraient être effectués **le matin** pour minimiser l'effet des variations diurnes des contacts occlusaux et aux mêmes horaires pour éliminer cette variable. Dans leur étude Berry & Singh (71) ont mis en évidence une variation du nombre et du type de contacts chez le même patient entre 9h00 et 14h00 le même jour. Ainsi selon eux, le nombre de contacts est plus important et les zones de contacts sont plus diffuses le matin par rapport à l'après-midi chez un même patient et lors de la même journée. Pour l'organisation de l'étude, il a fallu cependant répartir les enregistrements tout au long de la journée.

Entre T1 et T2, les mesures de la tension de repos des temporaux (droit et gauche) sont statistiquement différentes (respectivement  $p < 0,02$  et  $p < 0,003$ ). Les résultats montrent une hyperactivité des fibres antérieures des temporaux avant le débagueage (T1) qui diminue vers les valeurs standards de repos ( $2,8 \mu V$ ) à T2 (environ 1h après T1). Alors que, entre T1 et T2, le patient est resté environ 1h bouche ouverte lors du soin, une augmentation du tonus de repos des temporaux aurait dû être observée. Cette différence peut être liée aux variations intra-individuelles du patient tout au long de la journée; de plus le tonus de repos des temporaux est sensible au facteur oculomoteur. La dépose des bagues molaires et des cales occlusales molaires existantes lors du débagueage créant des prématurités et des obstacles occlusaux pourrait également expliquer la diminution de cette hyperactivité.

La revue de littérature de Christensen et Rassouli (72)(73), montre que les interférences occlusales (prématurités) peuvent provoquer des changements musculaires. Michelotti et al. en 2005 (74), ont étudié les effets des interférences occlusales sur les muscles masticatoires, l'interférence occlusale (feuille d'or collée sur les surfaces occlusales) a augmenté l'activité des muscles élévateurs mais aucun des sujets n'a développé de signes et / ou de symptômes dysfonctionnelles de l'appareil manducateur tout au long de l'étude, et la plupart d'entre eux se sont assez bien adaptés à la perturbation occlusale. Les résultats de cette étude peuvent être mis en parallèle avec les résultats de l'étude pilote, en effet les participants ont des prématurités occlusales créées par le traitement orthodontique (cales occlusales, bagues, brackets) produisant une hyperactivité de tonus musculaires des temporaux au repos (à T1) sans forcément développer des dysfonctions musculaires ou articulaires durant la phase active du traitement orthodontique; dès la dépose du système orthodontique et des prématurités occlusales (à T2) cette hyperactivité diminue. Cette hypothèse est renforcée par une expérience réalisée par Riise et al. (75) qui étudient chez onze volontaires ayant une dentition naturelle complète, les effets d'une interférence occlusale expérimentale sur le schéma d'activité des muscles temporaux antérieurs et des masséters pendant la mastication. Les résultats montrent qu'une petite interférence occlusale (environ 0,5 mm) en occlusion d'intercuspidie maximale peut modifier la coordination de l'activité musculaire lors de la mastication. Après élimination de l'interférence, le schéma de coordination de l'activité musculaire est revenu presque au schéma pré-expérimental en 2 semaines. Même résultat décrit dans l'étude de Li et al. (76)

qui ont étudié l'impact à court terme d'une cale occlusale de 0,5 mm de hauteur placée sur la première molaire inférieure droite ; l'activité du muscle temporal antérieur droit a augmenté significativement au repos et a diminué après la dépose de la cale. Bien que cette étude soit de faible portée, les résultats peuvent être mis en parallèle avec les résultats de l'étude pilote ; lorsqu'une interférence occlusale est retirée l'hyperactivité des tonus de repos des temporaux diminue. Néanmoins, cette hypothèse est à développer, car l'étude n'a pas mis en évidence de différence entre T1 et T3 concernant les tonus de repos des muscles manducateurs. La diminution des tonus de repos peut aussi être expliquée par les propriétés du desmodonte qui engendraient une diminution des contacts occlusaux après dépose et par le même effet une diminution des tonus de repos des muscles manducateurs. En effet, selon Reitan (77) les déplacements les plus importants ont lieu dans les deux premières heures qui suivent la dépose de l'appareil et restent maximaux jusqu'à 5h (78). Selon Thilander (79), la tendance au déplacement est liée au tiers cervical du ligament car les fibres supracrestales ne sont pas ancrées dans un "mur" osseux.

Des différences statistiquement significatives des **efficacités musculaires** sont mises en évidence entre T1 et T2 avec T3. Avec une tendance à l'augmentation de T1 à T3, ces résultats suggèrent que l'activité musculaire lors de la fonction est rétablie avec pour avantage une amélioration de la mastication. Dans la littérature, trois études comparent l'occlusion en OIM entre le moment de la dépose, après la dépose du multibague et trois mois après. Haydar et al. (80), dans leur échantillon de 10 sujets, trouvent une augmentation significative de 5,66 % du nombre de contacts en OIM à trois mois. Durbin & Sadowski (81) obtiennent une augmentation significative de 11,41 % pour leur échantillon de 23 patients. Enfin, Sauget et al. (58) constatent une augmentation significative de 33,21%, leur échantillon contenant 15 patients. En se basant sur la littérature, l'étude semble donc montrer l'existence d'une augmentation significative des surfaces d'occlusion fonctionnelles associée à une amélioration des efficacités des masticateurs. Cette hypothèse doit être confirmée en comparant les mordus occlusaux entre T1,T2 et T3.

Seules les efficacités des temporaux avant et après débague sont différentes et inférieures à la norme (contraction moyenne = 110  $\mu$ V). A trois mois, il n'y a aucune différence qui n'a été mise en évidence avec la norme concernant les efficacités des élévateurs.

L'amélioration de l'efficacité musculaire confère un avantage pour la performance masticatoire. En effet, dans la littérature, l'efficacité musculaire est positivement liée à la performance masticatoire (82). D'après l'étude de Kuninori et al. 2014 (83) qui étudie l'effet de l'efficacité sur la mastication chez les sujets ayant une occlusion normale, les sujets avec une efficacité maximale plus faible ont montré des performances masticatoires nettement inférieures. Ainsi, l'étude suggère avec cette augmentation de l'efficacité que la cohorte étudiée présente un ancrage mandibulaire optimal amélioré 3 mois après la dépose avec une contraction isométrique synchrone (100% des patients à 3 mois présentent des contractions synchrones des élévateurs) et suffisante des muscles masséters et temporaux.

Les résultats de l'étude n'ont révélé aucune différence entre les **sexes** concernant le tonus de repos des muscles masséters et temporaux. Ceci est conforme à Ferrario et al.(84), qui n'ont pas non plus observé de différences de position de repos des muscles masséters et temporaux entre les femmes et les hommes sur la base des enregistrements réalisés chez 92 sujets sains. Les mêmes résultats relatifs à l'activité de repos ont été décrits par Cha et al. (59). L'échantillon qu'ils ont étudié comprenait 105 patients âgés en moyenne de 22 ans, moyenne d'âge proche de la cohorte étudiée (moyenne d'âge 19 ans). À l'inverse, Pinho et al. (24) indiquent une activité des muscles masséters et temporaux plus élevée chez la femme (2,64  $\mu$ V) que chez l'homme (1,37  $\mu$ V). L'étude a montré un résultat inverse ; des différences notables sur les efficacités musculaires ; plus importantes chez les hommes que chez les femmes cependant les effectifs sont trop faibles (6 femmes et 6 hommes) pour pouvoir en tirer des conclusions.

**L'âge** doit être pris en compte lors de toute évaluation de l'activité musculaire. Les enregistrements de 24 heures de EMGs décrits par Ueda et al. (85) indiquent une durée plus longue de l'activité des muscles temporaux chez les enfants (moyenne d'âge 10 ans) et des muscles masséters chez les adultes (moyenne d'âge 24 ans). Les auteurs ont attribué ces résultats au développement incomplet de la dentition et des articulations temporo-mandibulaires, ainsi qu'à l'immaturité des muscles chez les enfants. Dans l'étude, les participants (moyenne d'âge de 19 ans  $\pm$  8,54) ont été comparés dans un même échantillon, en effet les effectifs sont trop faibles pour pouvoir différencier les différentes tranches d'âge.

## D. PERSPECTIVES

### 1. Analyse des surfaces occlusales fonctionnelles

L'amélioration statistiquement significative de l'efficacité musculaire à T3 indique qu'il semblerait qu'une assise de l'occlusion soit effective 3 mois après le débagueage. Cette assise de l'occlusion correspondrait au phénomène de "settling" (ou réarrangement occlusal) attendu après la phase active du traitement orthodontique (86)(87). Ce phénomène se traduit par une éruption verticale des dents postérieures permettant une bonne intercuspidation avec une répartition des contraintes sur plusieurs dents gage d'un bon fonctionnement masticatoire et de la stabilité du traitement orthodontique (88). Les **délais** entre deux examens et la **période de suivi** entre **T1/T2 et T3** sont trop courts (3 mois) et inférieurs à certains délais de réaménagement occlusal indiqués dans la littérature (89). En effet, nombreux auteurs ont montré qu'un phénomène de réarrangement occlusal est constaté jusqu'à 24 mois après la dépose de l'appareillage orthodontique voir quelques années après.

Pour valider l'hypothèse d'une corrélation positive entre l'amélioration de l'efficacité musculaire retrouvée dans l'étude pilote et de l'occlusion d'intercuspidie maximale, une piste à explorer serait de corréler les **objectifs musculaires post-orthodontiques** donnés par les enregistrements électromyographiques à ceux des **objectifs occlusaux post-orthodontiques** avec l'analyse des surfaces occlusales fonctionnelles donnée par le Tscan. Ce modèle expérimental a déjà été utilisé dans la littérature ; Kerstein RB et Radke J. ont étudié la corrélation entre l'enregistrements musculaires des élévateurs (temporaux et masséters) avec les enregistrements du T-scan lors de la désocclusion (90). Le Tscan est un fin capteur occlusal flexible (85 microns) qui renferme une double couche de Mylar, encre spéciale dont la conductivité électrique est modifiée sous l'application d'une force. L'analyse **dynamique** des données de contact dentaire du Tscan III dernière génération illustre la chronologie exacte des contacts dentaires (10ms) ainsi que leur intensité (91). Cet outil d'analyse vient en complément de la clinique et de l'EMGs pour détecter les interférences et les prématurités occlusales et ainsi guider la qualité des finitions occlusales pour obtenir une répartition des contacts équilibrée en quantité et en qualité. La qualité

des différents enregistrements autorisent des comparaisons intra et interindividuelles ; outil intéressant dans la continuité du protocole pour valider la qualité de la finition occlusale avant la dépose du système mais également à T2 et à T3. En effet, l'analyse des surfaces occlusales constitue un guide clinique lors de l'équilibration occlusale en réhabilitation prothétique (92), l'orthodontie s'inscrivant dans une prise en charge globale de l'occlusion, il est nécessaire d'utiliser le Tscan comme un élément complémentaire de l'EMGs afin de valider l'occlusion post-orthodontie (Revue de la littérature de 2014 de Trpvaska et al.)(93), post chirurgie orthognatique (Agbaje et al. 2017) (94) ainsi que pour étudier les trajets mandibulaires post traitement orthodontique (95).

## 2. Analyse des EMGs avant et après traitement

Il serait également intéressant de pouvoir comparer **les EMGs avant et après traitement orthodontique des participants** pour analyser l'évolution neuromusculaire. Chan trouve des données EMG fonctionnelles améliorées avant et après traitement orthodontique chez une patiente présentant des troubles neuro-musculo-articulaires (96). Dans la littérature, de nombreuses études ont été réalisées comparant les EMG avant et après nouvelles réhabilitations prothétiques. L'amélioration de la qualité de vie et de l'efficacité masticatoire ainsi qu'une diminution significative de l'activité musculaire au repos sont fréquemment retrouvées, chez les patients ayant recours à une nouvelle réhabilitation totale que ce soit chez l'enfant édenté atteint de Dysplasie ectodermique (97), ou chez l'adulte édenté partiel (98) ou total (99) après un suivi de 3 mois. L'orthodontie étant une **réhabilitation globale** ayant les mêmes objectifs fonctionnels et esthétiques que la prothèse, le modèle expérimental et les résultats de ces études peuvent être appliqués à l'orthodontie. Il est également, d'après ces études, retrouvé une amélioration progressive de l'efficacité musculaire après 3 mois, ces résultats coïncident avec les résultats de l'étude pilote. Même constat concernant les traitements orthopédiques, les performances masticatoires sont normalisées avant et après traitement précoce (Revue de la littérature de Tsanidis et al. de 2016)(100). La séquence d'enregistrement J1, J+3mois, J+6 mois est plus fréquemment utilisée dans les protocoles d'exploration électromyographique. Les investigations de cette étude pilote doivent être

poursuivis à plus grande échelle et à plus long terme en réalisant les EMGs avant le traitement orthodontique.

### 3. Analyse de la satisfaction

Il serait judicieux d'inclure au protocole de recherche la notion de **satisfaction** du patient après le traitement orthodontique; à l'aide d'un questionnaire simple en comparant les critères de réussite clinique aux résultats donnés par l'EMGs. Ce modèle expérimental n'a jamais été utilisé en orthopédie dento-faciale mais a montré son utilité en réhabilitation prothétique. Notamment, en implantologie (101) par Alam et al. ; chez 21 sujets comparés à un groupe témoin, les résultats montrent que la satisfaction fonctionnelle des patients implantés est en relation avec les critères de réussite clinique et l'amélioration des résultats de l'EMGs. Modèle également retrouvé dans les études expérimentales en prothèse complète pour comparer deux types d'occlusion et évaluer la satisfaction versus les résultats musculaires de l'EMGs. D'autres études qui associent qualité de vie, satisfaction et performance masticatoire en prothèse implantaire (102) ou en prothèse maxillo-faciale avec la rééducation fonctionnelle post-thérapeutique (103) ont été décrites. Malgré que la littérature a montré que la satisfaction des patients 3 mois après la prise en charge thérapeutique globale est associée à l'existence de certains profils de personnalité (d'après Abu Hantash et al. 2006)(104) ; l'amélioration de la qualité de vie du patient doit être pris en compte au cours des thérapeutiques orthodontiques. En effet, la demande esthétique est en plein essor mais il ne faut pas perdre de vue la demande fonctionnelle du patient, ainsi la corrélation entre l'amélioration des données de l'EMGs et la qualité de vie après traitement est un élément supplémentaire à ajouter à l'étude pilote. L'augmentation du nombre de traitements orthodontiques peut être mis en parallèle avec l'augmentation du nombre de traitements implantaires, ainsi comme les omnipraticiens pour l'élaboration des restaurations prothétiques globales (105), l'orthodontiste doit être sensibilisé au déficit fonctionnel du patient ayant une malocclusion et à la façon dont les différentes approches thérapeutiques peuvent améliorer les fonctions et la qualité de vie.

#### 4. Comparaison avec un groupe témoin

Dans la littérature, les résultats électromyographiques avant et après traitement sont comparés à un groupe témoin. Kecik et al. en 2007 (106) concluent qu'après traitement orthopédique par expansion transversale, les fonctions musculaires du système stomatognathique du groupe traité ont été normalisées sans différence statistiquement significative par rapport au groupe témoin en normocclusion qui n'a pas reçu de traitement. Alarcon et al. (107) et Martin et al. (108) utilisent également ce schéma expérimental en comparant les électromyographies de surface avant et après traitement d'un groupe témoin sans traitement ni malocclusion à un groupe traité présentant une malocclusion. Ces études renforcent l'utilité d'inclure un groupe témoin au protocole de recherche pour valider l'efficacité de la thérapeutique.

Pour la poursuite de l'étude, il faut inclure au protocole de recherche un groupe témoin en Classe I d'Angle avec des caractéristiques proches de la cohorte étudiée pour pouvoir conclure si les différences observées entre les différents temps d'enregistrement sont liées à la dépose du système orthodontique et aux adaptations neuromusculaires observées pendant le remaniement occlusal ou liées aux variations intra-individuelles entre deux enregistrements électromyographiques. Pour ce groupe témoin 3 enregistrements seraient organisés : deux enregistrements à 1H d'intervalle (temps de dépose du multiattache) et 1 autre 3 mois après (T1, T2, T3). Ce protocole sera soumis au Comité de Protection des Personnes (CPP) pour la poursuite de l'étude (Tab.6).

<p><b>PROMOTEUR</b></p>	<p>CHU de TOULOUSE Hôtel Dieu 2 rue Viguerie TSA 80035 31059 TOULOUSE cedex 9</p>
<p><b>INVESTIGATEUR PRINCIPAL</b></p>	<p>Dr DESTRUHAUT Florent CHU de Toulouse, Rangueil, 3 chemins des Maraichers, 31400 Toulouse 0561322034</p>
<p><b>TITRE</b></p>	<p>Évaluation neuromusculaire des thérapeutiques orthodontiques avant et après débaguage : une étude observationnelle prospective.</p>
<p><b>JUSTIFICATION / CONTEXTE</b></p>	<p>La réalisation de l'équilibre musculaire à la fin du traitement orthodontique est un objectif fonctionnel primordial. En effet, un déséquilibre compromet la stabilité du résultat obtenu par le traitement.</p> <p>L'électromyographie de surface (EMGs) nous apporte des données quantitatives et qualitatives objectives, reproductibles et fiables sur l'état fonctionnel des muscles masticateurs du patient en complément de l'examen clinique minutieux. Il nous permet d'observer l'intégration fonctionnelle de l'occlusion thérapeutique post-orthodontique dans le système manducateur.</p> <p>Il a été démontré que la présence de dysfonctions est associée aux anomalies morphologiques.</p> <p>En effet, les altérations des activités des muscles masticateurs doivent être prises en considération à la fois dans le traitement et dans la stabilité post-orthodontique.</p>

	<p>En outre, les enregistrements électromyographiques démontrent la nécessité de rétablir une occlusion fonctionnelle corrélée à une normalisation des muscles masticatoires au repos et en activité au cours et après thérapeutique orthodontique.</p> <p>La prise en charge orthodontique associée à la prise en charge fonctionnelle et musculaire est courante et semble être la clé du succès de la thérapeutique.</p> <p>De récentes études semblent montrer une amélioration des enregistrements électromyographiques et donc de l'équilibre des muscles masticatoires du système stomathognatique.</p> <p>Il a été prouvé qu'il n'y a pas de différence significative que les fonctions musculaires du système stomatognathique ont été normalisées sans différence statistiquement significative par rapport au groupe témoin en normocclusion après traitement orthopédique ou traitement prothétique en comparant les enregistrements avant et après thérapeutique.</p> <p>Dans notre étude, nous réaliserons des enregistrements électromyographiques avant et après débague et à 3 mois après traitement orthodontique.</p> <p>Il n'y a actuellement aucune étude française (voire internationale) qui compare les EMGs avant et après dépose du système orthodontique. Il s'agit d'une <b>étude pilote</b> afin de collecter les premiers éléments concernant</p>
--	---

	<p>l'intérêt et les résultats de l'EMGs en post-traitement.</p> <p>Nous voulons dans cette étude, comparer les enregistrements neuromusculaires avant <b>(T1)</b> et après <b>(T2)</b> débague le même jour puis à 3 mois <b>(T3)</b>.</p>
<b>OBJECTIFS</b>	<p><b>Objectif principal</b> : décrire l'évolution des enregistrements musculaires donnés par l'EMGs entre les différents enregistrements au moment de la dépose de l'appareil multi-attache et après les trois premiers mois de contention.</p> <p><b>Objectifs secondaires :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire l'évolution des différents enregistrements dans le temps par comparaison aux normes établies</li> <li>• Décrire les schémas d'évolution individuel de l'intégration dans le système manducateur de l'équilibre neuromusculaire orthodontique dans le temps pour chaque sujet.</li> <li>• Comparer les enregistrements obtenus avant et après le débague à ceux d'un groupe contrôle</li> <li>• Comparer les enregistrements obtenus entre les hommes et les femmes</li> </ul>
<b>SCHEMA DE LA RECHERCHE</b>	Étude observationnelle, prospective, à visée analytique, longitudinale, monocentrique
<b>CRITERES D'INCLUSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classe I d'Angle canine</li> <li>• Patients porteurs d'un appareil multibague bimaxillaire</li> <li>• Autorisation de soin pour les mineurs</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Patients dont les objectifs orthodontiques (définis par l'HAS 2003) fonctionnels, occlusaux et esthétiques de fin de traitement ont été validés</li> </ul>
<b>CRITERES DE NON-INCLUSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non coopération</li> <li>• Patients ayant une barrière à la compréhension des exercices donnés</li> <li>• Traitement jugé inachevé</li> <li>• Patients présentant des agénésies (hors dents de sagesse) ou des fentes labio-maxillo-palatines</li> <li>• Porteur de barbe</li> </ul>
<b>CRITERES D'EXCLUSION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation de réhabilitations prothétiques ou implanto-prothétiques entre T0 et T3</li> <li>• Réalisation de soins conservateurs modifiant les rapports occlusaux chez le patient entre T0 et T3</li> <li>• Remplacement de prothèse après débaguage entre T0 et T3</li> </ul>
<b>CRITERES D'EVALUATION</b>	<p><u>Critère de jugement principal</u> : Comparaison des enregistrements électromyographiques du groupe traité au groupe témoin</p> <p><u>Critères de jugement secondaires</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tonus musculaire au repos comparable à la norme</li> <li>• Synchronisme musculaire des masticateurs</li> <li>• Efficience musculaire optimisée à 3 mois</li> </ul>
<b>TAILLE D'ETUDE</b>	<p>Pour une étude avant/après, alpha = 5% et puissance = 80%. 30 participants incluent dans le groupe contrôle et 30 participants incluent dans le groupe traité.</p>
<b>DUREE DE LA RECHERCHE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de la période d'inclusion : novembre 2019 à novembre 2021 soit 24 mois</li> <li>- Durée du suivi par participant : 3 mois</li> <li>- Durée totale de la recherche : 27 mois</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES</b></p>	<p>Les données recueillies ont été anonymisées et compilées sur un tableur Microsoft Excel®. Leur analyse a été effectuée grâce aux logiciels Stata v.13® et GraphPad Prism 5®. Les variables ont été comparées selon le temps de relevé (avant débagage, après débagage puis à trois mois) ainsi que selon le sexe. Des tests non paramétriques de Mann-Whitney Wilcoxon et de Fisher ont été appliqués pour les variables respectivement quantitatives et qualitatives au seuil de significativité de 5%.</p>
<p style="text-align: center;"><b>RETOMBES ATTENDUES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résultats électromyographiques normalisés et comparables au groupe témoin à 3 mois</li> <li>• Amélioration des enregistrements des électromyographies de surface à 3 mois</li> <li>• Synchronisme des muscles masticateurs</li> <li>• Tonus de repos des muscles masticateurs normalisé</li> <li>• Amélioration de l'efficacité musculaire à 3 mois avec pour avantage la performance masticatoire améliorée</li> </ul>

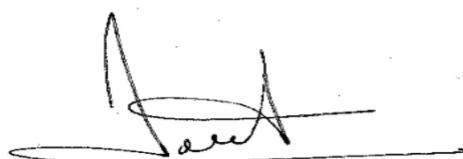
Tableau 6 : Résumé du protocole de recherche au CPP

## CONCLUSION

En orthopédie dento-faciale, l'exploration neuromusculaire avec l'EMGs apporte un œil nouveau concernant les résultats fonctionnels de la musculature et de l'occlusion après traitement. La méthodologie de cette pré-étude pilote répond aux critères d'une étude prospective ayant une fiabilité limitée, en effet ce type d'étude est moins fort qu'une étude clinique comparative, néanmoins elle offre une nouvelle perspective de recherche intéressante. Les résultats suggèrent que la cohorte étudiée présente un ancrage mandibulaire optimal amélioré 3 mois après la dépose avec une contraction isométrique synchrone et suffisante des muscles manducateurs, principalement des masséters et des temporaux.

L'augmentation notable de l'intérêt de l'EMG en orthodontie est liée à la nécessité d'un traitement fiable et efficace des malocclusions. La prise de conscience des causes des malocclusions confirme l'influence de la fonction sur la morphologie et justifie une thérapeutique biofonctionnelle, qui vise à améliorer l'équilibre des muscles masticateurs ainsi que celui du système stomatognathique dans sa globalité (intérêt du rôle important de l'approche neurologique et proprioceptive). À l'heure actuelle, les effets du traitement orthodontique sur le système stomatognathique ne sont pas bien compris. L'EMGs permet de valider les schémas neuromusculaires des patients et de suivre leurs évolutions avant, pendant et après traitement et précise par ailleurs l'état musculaire dans les trois phases : l'activité tonique posturale, l'activité de contraction isotonique et isométrique.

L'EMGs rejoint un ensemble de tests diagnostiques cliniques et morphologiques qui aide l'orthodontiste à suivre les soins et à gérer le patient en post-orthodontie. L'examen clinique doit cependant conserver une place de choix. Comprendre le fonctionnement du système stomatognathique et l'interrelation entre les changements neuromusculaires et occlusaux est une condition préalable au succès de l'occlusion post-orthodontie. L'EMGs est un outil essentiel pour surveiller l'activité musculaire.



F. Destuhand

Le Doyen



Professeur Philippe POMAR

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- Eff Moy : Efficience moyenne
- EMG : Électromyographie
- EMGs : Électromyographie de Surface
- ELN : Enveloppe Linguale Nocturne
- LDA/RDA : left/right anterior digastric
- LMM/RMM : left/right surface masseter
- LTA/RTA : left/right anterior temporal
- PA : Potentiel d'action
- PAUM : Potentiel d'action d'Unité Motrice
- OIM : Occlusion d'Intercuspitation Maximale
- SCOM ou SCM : Sterno-cléïdo-occipito-mastôïdien
- UM : Unité Motrice

## Bibliographie

1. Hogrel J-Y. Clinical applications of surface electromyography in neuromuscular disorders. *Neurophysiol Clin Neurophysiol*. juill 2005;35(2-3):59-71.
2. Galvani L, Aldini G. *Aloysii Galvani: de Viribus Electricitatis in Motu Musculari*. Kessinger Publishing; 2010. 108 p.
3. Hägg GM, Luttmann A, Jäger M. Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. oct 2000;10(5):301-12.
4. Masson E. *Électrocardiogramme normal de l'adulte*. Cardiologie. 2003
5. Aldrich TK, Sinderby C, Kenzie DKM, Estenne M, Gandevia SC. *Techniques électrophysiologiques d'évaluation fonctionnelle des muscles respiratoires*. 2008
6. Vrolijk RO, Notenboom-Nas FJM, de Boer D, Schouten T, Timmerman A, Zijlstra A, et al. Exploring pelvic floor muscle activity in men with lower urinary tract symptoms. *Neurourol Urodyn*. févr 2020;39(2):732-7.
7. Qian X, Li P, Shi S, Garfield RE, Liu H. Measurement of Uterine and Abdominal Muscle Electromyography in Pregnant Women for Estimation of Expulsive Activities during the 2nd Stage of Labor. *Gynecol Obstet Invest*. 2019;84(6):555-61.
8. Nishi SE, Basri R, Alam MK. Uses of electromyography in dentistry: An overview with meta-analysis. *Eur J Dent*. juill 2016;10(03):419-25.
9. Peck S. Extractions, retention and stability: the search for orthodontic truth. *Eur J Orthod*. 01 2017;39(2):109-15.
10. Gugino CE. Introduction à la philosophie Bioprogressive Zerobase© présente et future. *Rev Orthopédie Dento-Faciale*. 1 mars 2000;34(1):17-34.
11. Gugino C, Dus I. Les concepts du déverrouillage : l'interaction entre forme et fonction. *Rev Orthopédie Dento-Faciale*. 1 mars 2000;34(1):83-107.
12. Castroflorio T, Bracco P, Farina D. Surface electromyography in the assessment of jaw elevator muscles. *J Oral Rehabil*. août 2008;35(8):638-45.
13. Hoozemans MJM, van Dieën JH. Prediction of handgrip forces using surface EMG of forearm muscles. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. août 2005;15(4):358-66.
14. Aldrich TK, Sinderby C, Mc Kenzie DK, Estenne M, Gandevia SC. *Techniques électrophysiologiques d'évaluation fonctionnelle des muscles respiratoires*. *Rev Mal Respir*.

1 juin 2004;21(3, Part 3):53-69.

15. Gerard J. Tortora, Bogdan Grabowski. PRINCIPES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE. 4ème édition . De Boeck University; 2007.
16. Bouisset S, Maton B. Muscles, posture et mouvement : bases et applications de la méthode électromyographique. Paris: Hermann; 1996. 735 p.
17. Huxley AF. Muscle structure and theories of contraction. Prog Biophys Biophys Chem. 1957;7:255-318.
18. Brown B.H Medical Physics and Biomedical Engineering. Taylor & Francis Group; 1998.
19. Rota S. Apport de l'électromyographie de surface en tennis : proposition d'une nouvelle méthode de normalisation des muscles du membre supérieur : influence de la vitesse et de la fatigue sur l'activité musculaire du membre supérieur en tennis. Université Claude Bernard - Lyon I; 2013
20. Cao H. Modélisation et évaluation expérimentale de la relation entre le signal EMG de surface et la force musculaire. Université de Technologie de Compiègne; 2010
21. De Luca CJ. Physiology and Mathematics of Myoelectric Signals. IEEE Trans Biomed Eng. juin 1979;BME-26(6):313-25.
22. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G. The influence of crossbite on the coordinated electromyographic activity of human masticatory muscles during mastication. J Oral Rehabil. juill 1999;26(7):575-81.
23. Regalo SCH, de Lima Lucas B, Díaz-Serrano KV, Frota NPR, Regalo IH, Nassar MSP, et al. Analysis of the stomatognathic system of children according orthodontic treatment needs. J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie Organ Official J Dtsch Ges Kieferorthopadie. janv 2018;79(1):39-47.
24. Pinho JC, Caldas FM, Mora MJ, Santana-Penín U. Electromyographic activity in patients with temporomandibular disorders. J Oral Rehabil. nov 2000;27(11):985-90.
25. Tartaglia GM, Moreira Rodrigues da Silva MA, Bottini S, Sforza C, Ferrario VF. Masticatory muscle activity during maximum voluntary clench in different research diagnostic criteria for temporomandibular disorders (RDC/TMD) groups. Man Ther. oct 2008;13(5):434-40.
26. Liu ZJ, Yamagata K, Kasahara Y, Ito G. Electromyographic examination of jaw muscles in relation to symptoms and occlusion of patients with temporomandibular joint

disorders. *J Oral Rehabil.* janv 1999;26(1):33-47.

27. Ferrario VF, Sforza C, Tartaglia GM, Dellavia C. Immediate effect of a stabilization splint on masticatory muscle activity in temporomandibular disorder patients. *J Oral Rehabil.* sept 2002;29(9):810-5.

28. Humsi AN, Naeije M, Hippe JA, Hansson TL. The immediate effects of a stabilization splint on the muscular symmetry in the masseter and anterior temporal muscles of patients with a craniomandibular disorder. *J Prosthet Dent.* sept 1989;62(3):339-43.

29. Botelho AL, Gentil FHU, Sforza C, da Silva MAMR. Standardization of the electromyographic signal through the maximum isometric voluntary contraction. *Cranio J Craniomandib Pract.* janv 2011;29(1):23-31.

30. Türk SE. Pain and/or Discomfort During Debracketing: A Review. *Turk J Orthod.* déc 2019;32(4):236-40.

31. Woźniak K, Piątkowska D, Szyszka-Sommerfeld L, Buczkowska-Radlińska J. Impact of functional appliances on muscle activity: a surface electromyography study in children. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 20 janv 2015;21:246-53.

32. Leung DK, Hägg U. An electromyographic investigation of the first six months of progressive mandibular advancement of the Herbst appliance in adolescents. *Angle Orthod.* juin 2001;71(3):177-84.

33. Du X, Hägg U. Muscular adaptation to gradual advancement of the mandible. *Angle Orthod.* oct 2003;73(5):525-31.

34. Sood S, Kharbanda OP, Duggal R, Sood M, Gulati S. Muscle response during treatment of Class II Division 1 malocclusion with Forsus Fatigue Resistant Device. *J Clin Pediatr Dent.* 2011;35(3):331-8.

35. Arat FE, Arat ZM, Acar M, Beyazova M, Tompson B. Muscular and condylar response to rapid maxillary expansion. Part 1: electromyographic study of anterior temporal and superficial masseter muscles. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juin 2008;133(6):815-22.

36. Papé R de, Brandelet M, Chabre C, Froger F. Électromyographie de surface : apport au diagnostic de la déglutition atypique et aide à la décision thérapeutique. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 1 oct 2012;46(4):395-404.

37. Farronato G, Giannini L, Galbiati G, Stabilini SA, Sarcina M, Maspero C. Functional evaluation in orthodontic surgical treatment: long-term stability and predictability. *Prog Orthod.* 2015;16:30.

38. Ko EW-C, Teng TT-Y, Huang CS, Chen Y-R. The effect of early physiotherapy on the recovery of mandibular function after orthognathic surgery for class III correction. Part II: electromyographic activity of masticatory muscles. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg.* janv 2015;43(1):138-43.
39. Makaremi M, Zink K, Brondeau F de. Apport des contraintes masticatrices fortes dans la stabilisation de l'expansion maxillaire. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 1 janv 2015;49(1):11-20.
40. Tung MT, Makaremi M, Brondeau F de. Environnement neuro-musculaire et stabilité de l'expansion maxillaire transversale. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 1 juill 2017;51(3):399-412.
41. Woźniak K, Piątkowska D, Lipski M, Mehr K. Surface electromyography in orthodontics - a literature review. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 31 mai 2013;19:416-23.
42. D M. Refining Occlusion With Muscle Balance to Enhance Long-Term Orthodontic Stability. Vol. 29, *The Journal of clinical pediatric dentistry.* *J Clin Pediatr Dent;* 2005
43. Hugger S, Schindler HJ, Kordass B, Hugger A. Clinical relevance of surface EMG of the masticatory muscles. (Part 1): Resting activity, maximal and submaximal voluntary contraction, symmetry of EMG activity. *Int J Comput Dent.* 2012;15(4):297-314.
44. Merletti R, Hermens H. Introduction to the special issue on the SENIAM European Concerted Action. *J Electromyogr Kinesiol.* oct 2000;10(5):283-6.
45. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* oct 2000;10(5):361-74.
46. Stegeman D, Hermens H. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). 1 janv 2007;1.
47. Murray MP. *Kinesiology and Applied Anatomy. The Science of Human Movement, Second Edition.* *Phys Ther.* 1 oct 1963;43(10):768-768.
48. Dargaud J, Vinkka-Puhakka H, Cotton F, Corso MD, Bruy J, Vialle B, et al. Étude de l'articulation temporo-mandibulaire. 2020;22.
49. Netter F. *Atlas d'anatomie humaine. 7e édition.* S.l.: Elsevier Masson; 2019. 672 p.
50. Destruhaut F, Hourset M. Apport de l'électromyographie en prothèse maxillo-faciale - Cahiers de Prothèse n° 189 du 01/03/2020

51. Bakke M. Mandibular elevator muscles: physiology, action, and effect of dental occlusion. *Scand J Dent Res.* oct 1993;101(5):314-31.
52. Cram J. *Cram's Introduction to Surface Electromyography.* 2ième édition. Aspen Published, 1994.
53. Combadaçou JC, Combelles R, Cadenat H. The value of mandibular kinesiography and of T-scanning in the diagnosis and treatment of algo-dysfunctional syndrome of the temporomandibular joint. *Rev Stomatol Chir Maxillofac.* 1990;91(2):86-91.
54. Wang M-Q, He J-J, Wang K, Svensson P. Influence of changing occlusal support on jaw-closing muscle electromyographic activity in healthy men and women. *Acta Odontol Scand.* 1 janv 2009;67(3):187-92.
55. Haute Autorité de Santé - Les critères d'aboutissement du traitement d'orthopédie dento-faciale. *Recommandations des bonnes pratiques,* 2003.
56. Andrews: The six keys to normal occlusion. *AJO-DO* 1972 Sep (296-309) 1972;15.
57. Lejoyeux E. L'occlusion thérapeutique de classe II molaire. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 1 oct 1983;17(4):549-68.
58. Sauget E, Covell DA, Boero RP, Lieber WS. Comparison of occlusal contacts with use of Hawley and clear overlay retainers. *Angle Orthod.* 1997;67(3):223-30.
59. Cha BK, Kim C-H, Baek S-H. Skeletal sagittal and vertical facial types and electromyographic activity of the masticatory muscle. *Angle Orthod.* mai 2007;77(3):463-70.
60. Tecco S, Caputi S, Festa F. Electromyographic activity of masticatory, neck and trunk muscles of subjects with different skeletal facial morphology--a cross-sectional evaluation. *J Oral Rehabil.* juill 2007;34(7):478-86.
61. Miralles R, Hevia R, Contreras L, Carvajal R, Bull R, Manns A. Patterns of electromyographic activity in subjects with different skeletal facial types. *Angle Orthod.* 1991;61(4):277-84.
62. Proffit WR, Fields HW. Occlusal forces in normal- and long-face children. *J Dent Res.* mai 1983;62(5):571-4.
63. Ueda HM, Ishizuka Y, Miyamoto K, Morimoto N, Tanne K. Relationship between masticatory muscle activity and vertical craniofacial morphology. *Angle Orthod.* juin 1998;68(3):233-8.
64. Ciccone de Faria T dos S, Hallak Regalo SC, Thomazinho A, Vitti M, de Felício CM.

Masticatory muscle activity in children with a skeletal or dentoalveolar open bite. *Eur J Orthod.* août 2010;32(4):453-8.

65. Lapatki BG, Oostenveld R, Van Dijk JP, Jonas IE, Zwarts MJ, Stegeman DF. Optimal placement of bipolar surface EMG electrodes in the face based on single motor unit analysis. *Psychophysiology.* mars 2010;47(2):299-314.

66. Castroflorio T, Farina D, Bottin A, Piancino MG, Bracco P, Merletti R. Surface EMG of jaw elevator muscles: effect of electrode location and inter-electrode distance. *J Oral Rehabil.* juin 2005;32(6):411-7.

67. Castroflorio T, Icardi K, Becchino B, Merlo E, Debernardi C, Bracco P, et al. Reproducibility of surface EMG variables in isometric sub-maximal contractions of jaw elevator muscles. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* oct 2006;16(5):498-505.

68. Im Y-G, Han S-H, Park J-I, Lim H-S, Kim B-G, Kim J-H. Repeatability of measurements of surface electromyographic variables during maximum voluntary contraction of temporalis and masseter muscles in normal adults. *J Oral Sci.* 2017;59(2):233-45.

69. Ohmori H, Kirimoto H, Soma K. Characteristics and clinical application of a surface array electrode for recording masticatory muscle motor unit action potentials. *Orthod Waves.* 1 juin 2009;68(2):57-63.

70. Drost G, Stegeman DF, van Engelen BGM, Zwarts MJ. Clinical applications of high-density surface EMG: a systematic review. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* déc 2006;16(6):586-602.

71. Berry DC, Singh BP. Daily variations in occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* sept 1983;50(3):386-91.

72. Christensen LV, Rassouli NM. Experimental occlusal interferences. Part I. A review. *J Oral Rehabil.* juill 1995;22(7):515-20.

73. Christensen LV, Rassouli NM. Experimental occlusal interferences. Part II. Masseteric EMG responses to an intercuspal interference. *J Oral Rehabil.* juill 1995;22(7):521-31.

74. Michelotti A, Farella M, Gallo LM, Veltri A, Palla S, Martina R. Effect of occlusal interference on habitual activity of human masseter. *J Dent Res.* juill 2005;84(7):644-8.

75. Riise C, Sheikholeslam A. Influence of experimental interfering occlusal contacts on the activity of the anterior temporal and masseter muscles during mastication. *J Oral Rehabil.*

juill 1984;11(4):325-33.

76. Li J, Jiang T, Feng H, Wang K, Zhang Z, Ishikawa T. The electromyographic activity of masseter and anterior temporalis during orofacial symptoms induced by experimental occlusal highspot. *J Oral Rehabil.* févr 2008;35(2):79-87.

77. Reitan K. Principles of retention and avoidance of posttreatment relapse. *Am J Orthod.* juin 1969;55(6):776-90.

78. Thilander B. Biological basis for orthodontic relapse. *Semin Orthod.* 1 sept 2000;6(3):195-205.

79. Philippe J. About retention. *Orthod Francaise.* sept 2010;81(3):221-6.

80. Haydar B, Ciğer S, Saatçi P. Occlusal contact changes after the active phase of orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juill 1992;102(1):22-8.

81. Durbin DS, Sadowsky C. Changes in tooth contacts following orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* nov 1986;90(5):375-82.

82. Lepley CR, Throckmorton GS, Ceen RF, Buschang PH. Relative contributions of occlusion, maximum bite force, and chewing cycle kinematics to masticatory performance. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* mai 2011;139(5):606-13.

83. Kuninori T, Tomonari H, Uehara S, Kitashima F, Yagi T, Miyawaki S. Influence of maximum bite force on jaw movement during gummy jelly mastication. *J Oral Rehabil.* mai 2014;41(5):338-45.

84. Ferrario VF, Sforza C, Colombo A, Ciusa V. An electromyographic investigation of masticatory muscles symmetry in normo-occlusion subjects. *J Oral Rehabil.* janv 2000;27(1):33-40.

85. Ueda HM, Miyamoto K, Saifuddin M, Ishizuka Y, Tanne K. Masticatory muscle activity in children and adults with different facial types. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juill 2000;118(1):63-8.

86. Başçiftçi FA, Uysal T, Sari Z, Inan O. Occlusal contacts with different retention procedures in 1-year follow-up period. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* mars 2007;131(3):357-62.

87. Sari Z, Uysal T, Başçiftçi FA, Inan O. Occlusal contact changes with removable and

bonded retainers in a 1-year retention period. *Angle Orthod.* sept 2009;79(5):867-72.

88. Hoybjerg AJ, Currier GF, Kadioglu O. Evaluation of 3 retention protocols using the American Board of Orthodontics cast and radiograph evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* juill 2013;144(1):16-22.

89. Berry DC, Singh BP. Effect of electromyographic biofeedback therapy on occlusal contacts. *J Prosthet Dent.* mars 1984;51(3):397-403.

90. Kerstein RB, Radke J. Masseter and temporalis excursive hyperactivity decreased by measured anterior guidance development. *Cranio J Craniomandib Pract.* oct 2012;30(4):243-54.

91. Cohen-Lévy J, Cohen N. Analyse occlusale informatisée en orthopédie dento-faciale : indications et utilisation clinique du Tscan III. *Rev Orthopédie Dento-Faciale.* 1 janv 2012;46(1):33-53.

92. Kerstein RB. T-scan III applications in mixed arch and complete arch, implant - supported prosthodontics. *Dent Implantol Update.* juill 2008;19(7):49-53.

93. Trpevska V, Kovacevska G, Benedeti A, Jordanov B. T-scan III system diagnostic tool for digital occlusal analysis in orthodontics - a modern approach. *Pril Makedon Akad Na Nauk Umet Oddelenie Za Med Nauki.* 2014;35(2):155-60.

94. Agbaje JO, Castele EV de, Salem AS, Anumendem D, Shaheen E, Sun Y, et al. Assessment of occlusion with the T-Scan system in patients undergoing orthognathic surgery. *Sci Rep.* 13 2017;7(1):5356.

95. An W, Wang B, Bai Y. Occlusal contacts during protrusion and lateral movements after orthodontic treatment. *West China J Stomatol.* déc 2011;29(6):614-7.

96. Chan CA. Applying the Neuromuscular Principles in TMD and Orthodontics. :23.

97. Ding M, Zhu J, Zhao Y, Kang Y, Qin M. [Masticatory performance and assessment of life quality of children with ectodermal dysplasia after prosthetic rehabilitation]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi Zhonghua Kouqiang Yixue Zazhi Chin J Stomatol.* juin 2015;50(6):369-72.

98. Al-Omiri MK. Muscle activity and masticatory efficiency with bilateral extension base removable partial dentures with different cusp angles. *J Prosthet Dent.* mars 2018;119(3):369-76.

99. Sônego MV, Goiato MC, Dos Santos DM. Electromyography evaluation of masseter and temporalis, bite force, and quality of life in elderly patients during the adaptation of

mandibular implant-supported overdentures. *Clin Oral Implants Res.* oct 2017;28(10):e169-74.

100. Tsanidis N, Antonarakis GS, Kiliaridis S. Functional changes after early treatment of unilateral posterior cross-bite associated with mandibular shift: a systematic review. *J Oral Rehabil.* janv 2016;43(1):59-68.

101. Alam MK, Rahaman SA, Basri R, Sing Yi TT, Si-Jie JW, Saha S. Dental Implants – Perceiving Patients’ Satisfaction in Relation to Clinical and Electromyography Study on Implant Patients. *PLoS ONE*; 2015.

102. Feine JS, Lund JP. Measuring chewing ability in randomized controlled trials with edentulous populations wearing implant prostheses. *J Oral Rehabil.* avr 2006;33(4):301-8.

103. Dellavia C, Romeo E, Ghisolfi M, Chiapasco M, Sforza C, Ferrario VF. Electromyographic evaluation of implant-supported prostheses in hemimandibulectomy-reconstructed patients. *Clin Oral Implants Res.* juin 2007;18(3):388-95.

104. Abu Hantash RO, Al-Omiri MK, Al-Wahadni AM. Psychological impact on implant patients’ oral health-related quality of life. *Clin Oral Implants Res.* avr 2006;17(2):116-23.

105. Curtis DA, Sharma AB, Finzen FC. The use of dental implants to improve quality of life for edentulous patients. *J Calif Dent Assoc.* avr 2008;36(4):275-80.

106. Kecik D, Kocadereli I, Saatci I. Evaluation of the treatment changes of functional posterior crossbite in the mixed dentition. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* févr 2007;131(2):202-15.

107. Alarcón JA, Martín C, Palma JC. Effect of unilateral posterior crossbite on the electromyographic activity of human masticatory muscles. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* sept 2000;118(3):328-34.

108. Martín C, Palma JC, Alamán JM, Lopez-Quiñones JM, Alarcón JA. Longitudinal evaluation of sEMG of masticatory muscles and kinematics of mandible changes in children treated for unilateral cross-bite. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol.* août 2012;22(4):620-8.

## Table des illustrations

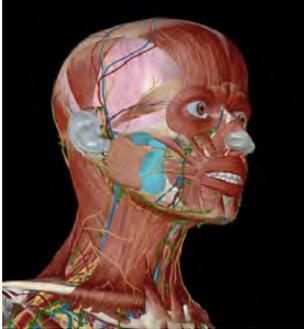
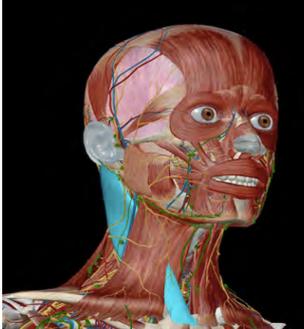
Figure 1 : Découverte de l'électricité animale : Convulsions des membres d'une grenouille disséquée, sans avoir recours à aucune électricité artificielle, par la seule application d'un arc conducteur, Galvani (1792)(2).....	14
Figure 2 : Structure de la fibre musculaire (d'après Bloom et Fawcett 1962).....	18
Figure 3 : Schéma explicatif de De Luca et al. : sommation des potentiels d'action (en haut à droite) et décomposition des trains de potentiels d'action générés par chaque UM (en bas à droite) .....	21
Figure 4 : L'intérêt de l'EMGs dans le diagnostic et le dépistage des dysfonctions de l'appareil manducateur .....	23
Figure 5 : L'intérêt de l'EMGs dans les traitements des dysfonctions de l'appareil manducateur.....	24
Figure 6 : L'intérêt de l'EMGs dans les réévaluations après traitements orthopédiques ..	25
Figure 7 : L'intérêt de l'EMGs dans les rééducations fonctionnelles.....	26
Figure 8 : Protocole de l'étude .....	28
Figure 9 : Matériels myotronics K7 sEMG .....	29
Figure 10 : Protocole de placement des électrodes.....	30
Figure 11 : Groupes musculaires du système stomatognathique .....	31
Figure 12 : Placement des électrodes pendant le protocole.....	32
Figure 13 : Protocole MAC <sup>1</sup> (Muscular ACTivity - MAC 1 ) .....	33
Figure 14 : Tonus de repos comparés à la norme .....	40
Figure 15 : Les efficiences des temporaux versus la norme .....	41
Figure 16 : Les efficiences des masséters versus la norme .....	42
Figure 17 : Comparaison des enregistrements électromyographiques Femmes / Hommes .....	43
Figure 18 : Résultats des comparaisons des enregistrements électromyographiques .....	44
Figure 19 : Résultats des enregistrements électromyographiques musculaires comparés à la norme .....	44

Tableau 1 : Domaines d'application de l'EMGs en médecine .....	15
Tableau 2 : Caractéristiques des participants .....	36
Tableau 3 : Enregistrements musculaires électromyographiques avant/après débague .....	38
Tableau 4 : Enregistrements électromyographiques musculaires à T1 et à T3.....	38
Tableau 5 : Enregistrements électromyographiques musculaires à T2 et à T3.....	39
Tableau 6 : Résumé du protocole de recherche au CPP .....	59

Annexe 1 : Description des groupes musculaires d'après Rasche et Burke

	<b><u>OBJECTIF</u></b>	<b><u>ACTIONS</u></b>	<b><u>MUSCLES</u></b>
<b><u>AGONISTES</u></b>	La contraction provoque le mouvement désiré	Élévateurs de la mandibule	Temporaux Masséters
<b><u>ANTAGONISTES</u></b>	La contraction produit une action inverse à celle de l'agoniste	Abaisseurs de la mandibule	Ventre antérieur des digastriques Muscles supra-hyoïdiens
<b><u>STABILISATEURS</u></b>	La contraction produit un appui stable pour l'exécution du mouvement	Muscles fixateurs	SCOM Muscles de la nuque Masséters et Temporaux Ptérygoïdiens médiaux Supra- et infra-hyoïdiens
<b><u>NEUTRALISATEURS</u></b>	La contraction s'oppose aux actions articulaires non désirées des autres muscles ou parasites	Stabilité de la coaptation condylo-discale	Muscles ptérygoïdiens latéraux

## Annexe 2 : Description des muscles étudiés dans l'étude pilote

<u>MUSCLES</u>	<u>OBJECTIFS</u>	<u>ACTIONS</u>
 <p><b>LE MASSÉTER</b></p>	<p><b>-Muscle masticateur</b>                      -Court et épais                      -<b>Étendue:</b> De l'arcade zygomatique à la branche montante de la mandibule                      -Formé de 3 faisceaux                      -<b>Vascularisations:</b> Artère massétérique + artère externe du masséter                      -<b>Innervations:</b> Nerf massétérique, branche du nerf mandibulaire</p>	<p>Élévation de la mandibule                      Propulsion de la mandibule (faisceau superficiel)</p>
 <p><b>LE TEMPORAL</b></p>	<p><b>-Muscle masticateur</b>                      -Large et plat                      -<b>Étendue:</b> De la fosse temporale au processus coronoïde                      -Formé de 3 faisceaux                      -<b>Vascularisations:</b> Artères temporales profondes + artère temporale moyenne                      -<b>Innervations:</b> Nerf mandibulaire</p>	<p>Élévation de la mandibule                      Translation postérieure de la mandibule</p>
 <p><b>LE SCOM</b></p>	<p>-Muscle antéro-latéral                      -Quadrilatère et épais                      -<b>Étendue:</b> Du processus mastoïde au sternum et à la clavicule                      -Formé de 2 faisceaux                      -<b>Innervations:</b> Motrice : le 11e nerf crânien, le nerf spinal accessoire / Sensorielle: le plexus cervical                      -<b>Vascularisations:</b> Artère occipitale + artère thyroïdienne supérieure</p>	<p>Muscles fixateurs                      Flexion de la tête                      Inclinaison + rotation de la tête</p>
 <p><b>LE DIGASTRIQUE</b></p>	<p>-Muscle suprahyoïdien                      -Allongé                      -<b>Étendue:</b> De la région mastoïdienne jusqu'au voisinage de la symphyse mentonnière                      -Formé de 2 ventres                      -<b>Innervations:</b> Ventre antérieur: nerf alvéolaire inférieur / Ventre postérieur: nerf glosso-pharyngien + nerf facial                      -<b>Vascularisations:</b> Ventre antérieur: artère sous-mentale / Ventre postérieur: artère occipitale</p>	<p>Abaissement de la mandibule                      Ascension du larynx</p>

## Annexe 3 : Caractéristiques de l'échantillon étudié

<u>PATIENT</u>	<u>SEXE</u>	<u>AGE</u>	<u>DYSMORPHOSE</u> <u>INITIALE</u>	<u>TYPE DE TRAITEMENT</u>	<u>OCCLUSION</u> <u>FINALE</u>	<u>TYPE DE</u> <u>CONTENTION</u> <u>MAXILLAIRE</u>
<b>1</b>	F	47	Classe II	Avec extraction	Classe I Canine Classe II molaire	Plaque de Hawley maxillaire
<b>2</b>	F	33	Classe II	Chirurgie d'avancée mandibulaire	Classe I Canine et Molaire	Gouttière maxillaire
<b>3</b>	H	14	Classe II	Sans extraction	Sans extraction	Gouttière maxillaire
<b>4</b>	H	18	Classe II	Avec extraction	Classe I Canine et Molaire	Gouttière maxillaire
<b>5</b>	H	17	Classe II	Sans extraction	Classe I Canine et Molaire	Gouttière maxillaire
<b>6</b>	H	13	Classe II	Sans extraction	Classe I Canine Classe II molaire	Gouttière maxillaire
<b>7</b>	F	19	Classe II	Avec extraction	Classe I Canine et Molaire	Gouttière maxillaire
<b>8</b>	F	16	Classe II	Sans extraction	Classe I Canine et Molaire	Enveloppe Linguale Nocturne (ELN)
<b>9</b>	F	17	Classe II	Sans extraction	Classe I Canine et Molaire	ELN
<b>10</b>	F	14	Classe II	Avec extraction	Classe I Canine et Molaire	ELN
<b>11</b>	H	15	Classe DDM	Sans extraction	Classe I Canine et Molaire	ELN
<b>12</b>	H	14	Classe DDM	Sans extraction	Classe I Canine et Molaire	ELN

## Annexe 4 : Comparaison des enregistrements musculaires : T1 et T2

	n	Avant débaguage	n	Après	p
LTA PR	12	4,12 ± 1,8	12	2,57 ± 0,98	<b>0,02</b>
RTA PR	12	4,71 ± 2,18	12	2,34 ± 1,19	<b>0,003</b>
LMM PR	12	2,42 ± 1,32	12	1,86 ± 0,72	0,49
RMM PR	12	3,05 ± 1,92	12	1,73 ± 0,65	0,07
L SCOM PR	12	3,03 ± 1,52	12	3,78 ± 3,21	0,82
R SCOM PR	12	3,02 ± 1,61	12	3,07 ± 1,9	0,8
LDA PR	12	2,58 ± 1,11	12	3,12 ± 1,85	0,77
RDA PR	12	2,62 ± 1,9	12	2,35 ± 1,64	0,45
LTA Eff Moy T1	12	63,17 ± 28,52	12	57,08 ± 32	0,73
LTA Eff Moy T2	12	63,31 ± 29,33	12	60,37 ± 34,75	0,73
LTA Eff Moy T3	12	65 ± 24,25	12	65,99 ± 34,06	0,93
LTA Eff Moy T4	12	74,63 ± 30,14	12	64,13 ± 34,78	0,45
RTA Eff Moy T1	12	70,58 ± 32,26	12	61,76 ± 32,08	0,64
RTA Eff Moy T2	12	72,19 ± 30,3	12	62,54 ± 27,11	0,56
RTA Eff Moy T3	12	63,46 ± 21,15	12	68,08 ± 33,08	0,77
RTA Eff Moy T4	12	71,43 ± 26,42	12	69,71 ± 34,59	0,86
LMM Eff Moy T1	12	68,18 ± 55,04	12	54,24 ± 32,9	0,56
LMM Eff Moy T2	12	66,43 ± 50,29	12	56,5 ± 27,48	0,91
LMM Eff Moy T3	12	92,08 ± 46,12	12	74,27 ± 42,71	0,3
LMM Eff Moy T4	12	103,97 ± 56,39	12	72,55 ± 39,77	0,13
RMM Eff Moy T1	12	72,68 ± 67,32	12	70,03 ± 56,22	0,95
RMM Eff Moy T2	12	79,52 ± 67,35	12	66,58 ± 40	0,69
RMM Eff Moy T3	12	85,96 ± 50,54	12	96,92 ± 64,98	0,91
RMM Eff Moy T4	12	102,78 ± 56,04	12	89,73 ± 48,4	0,56
Contraction symétrique des temporaux	12	11 patients (91,67%)	12	11 patients (91,67%)	>0,99
Contraction symétrique des masséters	12	10 patients (83,33%)	12	11 patients (91,67%)	>0,99

## Annexe 5 : Comparaison des enregistrements musculaires : T1 et T3

	n	Avant débague	n	A 3 mois	p
LTA PR	12	4,12 ± 1,8	10	3,36 ± 1,61	0,31
RTA PR	12	4,71 ± 2,18	11	3,67 ± 2,96	0,06
LMM PR	12	2,42 ± 1,32	10	2,45 ± 0,76	0,74
RMM PR	12	3,05 ± 1,92	10	2,44 ± 1,37	0,51
L SCOMPR	12	3,03 ± 1,52	10	2,86 ± 1,34	0,9
R SCOM PR	12	3,02 ± 1,61	10	2,96 ± 1,39	0,6
LDA PR	12	2,58 ± 1,11	10	2,31 ± 0,81	0,9
RDA PR	12	2,62 ± 1,9	10	2,51 ± 1,42	0,9
LTA Eff Moy T1	12	63,17 ± 28,52	10	102,01 ± 49,3	0,08
LTA Eff Moy T2	12	63,31 ± 29,33	10	110,65 ± 45,87	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T3	12	65 ± 24,25	10	118,03 ± 49,66	<b>0,002</b>
LTA Eff Moy T4	12	74,63 ± 30,14	10	108,74 ± 38,7	0,06
RTA Eff Moy T1	12	70,58 ± 32,26	10	99,13 ± 44,23	0,08
RTA Eff Moy T2	12	72,19 ± 30,3	10	100,23 ± 48,04	0,11
RTA Eff Moy T3	12	63,46 ± 21,15	10	112,21 ± 54,3	<b>0,01</b>
RTA Eff Moy T4	12	71,43 ± 26,42	10	103,36 ± 44,55	0,06
LMM Eff Moy T1	12	68,18 ± 55,04	10	88,16 ± 87,57	0,54
LMM Eff Moy T2	12	66,43 ± 50,29	10	88,73 ± 86,37	0,6
LMM Eff Moy T3	12	92,08 ± 46,12	10	114,43 ± 77,47	0,47
LMM Eff Moy T4	12	103,97 ± 56,39	10	104,66 ± 76,6	0,77
RMM Eff Moy T1	12	72,68 ± 67,32	10	112,37 ± 93	0,22
RMM Eff Moy T2	12	79,52 ± 67,35	10	128,78 ± 104,59	0,17
RMM Eff Moy T3	12	85,96 ± 50,54	10	145,85 ± 89,88	<b>0,04</b>
RMM Eff Moy T4	12	102,78 ± 56,04	10	149,61 ± 94,29	0,32
Contraction symétrique des temporaux	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99
Contraction symétrique des masséters	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99

## Annexe 6 : Comparaison des enregistrements musculaires : T2 et T3

	n	Après débagage	n	A 3 mois	p
LTA PR	12	2,57 ± 0,98	10	3,36 ± 1,61	0,21
RTA PR	12	2,34 ± 1,19	11	3,67 ± 2,96	0,18
LMM PR	12	1,86 ± 0,72	10	2,45 ± 0,76	<b>0,03</b>
RMM PR	12	1,73 ± 0,65	10	2,44 ± 1,37	0,21
L SCOM PR	12	3,78 ± 3,21	10	2,86 ± 1,34	0,95
R SCOM PR	12	3,07 ± 1,9	10	2,96 ± 1,39	0,55
LDA PR	12	3,12 ± 1,85	10	2,31 ± 0,81	0,47
RDA PR	12	2,35 ± 1,64	10	2,51 ± 1,42	0,64
LTA Eff Moy T1	12	57,08 ± 32	10	102,01 ± 49,3	<b>0,02</b>
LTA Eff Moy T2	12	60,37 ± 34,75	10	110,65 ± 45,87	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T3	12	65,99 ± 34,06	10	118,03 ± 49,66	<b>0,01</b>
LTA Eff Moy T4	12	64,13 ± 34,78	10	108,74 ± 38,7	<b>0,01</b>
RTA Eff Moy T1	12	61,76 ± 32,08	10	99,13 ± 44,23	<b>0,03</b>
RTA Eff Moy T2	12	62,54 ± 27,11	10	100,23 ± 48,04	<b>0,047</b>
RTA Eff Moy T3	12	68,08 ± 33,08	10	112,21 ± 54,3	0,1
RTA Eff Moy T4	12	69,71 ± 34,59	10	103,36 ± 44,55	0,37
LMM Eff Moy T1	12	54,24 ± 32,9	10	88,16 ± 87,57	0,39
LMM Eff Moy T2	12	56,5 ± 27,48	10	88,73 ± 86,37	0,13
LMM Eff Moy T3	12	74,27 ± 42,71	10	114,43 ± 77,47	0,19
LMM Eff Moy T4	12	72,55 ± 39,77	10	104,66 ± 76,6	0,18
RMM Eff Moy T1	12	70,03 ± 56,22	10	112,37 ± 93	0,13
RMM Eff Moy T2	12	66,58 ± 40	10	128,78 ± 104,59	0,11
RMM Eff Moy T3	12	96,92 ± 64,98	10	145,85 ± 89,88	0,13
RMM Eff Moy T4	12	89,73 ± 48,4	10	149,61 ± 94,29	0,54
Contraction symétrique des temporaux	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99
Contraction symétrique des masséters	12	11 patients (91,67%)	10	10 patients (100%)	>0,99

## Annexe 7 : Comparaison des enregistrements musculaires entre les femmes et les hommes

	n	Femmes	n	Hommes	p
LTA PR	6		6		
- T1	6	4,05 ± 1,97	6	4,2 ± 1,8	0,87
- T2	6	2,72 ± 1,06	6	2,43 ± 0,97	0,52
- T3	6	2,91 ± 0,88	4	4,04 ± 2,33	0,67
RTA PR					
- T1	6	3,75 ± 1,45	6	5,67 ± 2,47	0,2
- T2	6	2 ± 1,08	6	2,68 ± 1,29	0,34
- T3	6	2,76 ± 1,21	4	5,24 ± 4,64	0,2
LMM PR	16	2,04 ± 0,78	10	2,45 ± 0,76	0,1
- T1	6	2,74 ± 1,62	6	2,11 ± 0,99	0,63
- T2	6	2,1 ± 0,87	6	1,63 ± 0,49	0,52
- T3	6	2,39 ± 0,75	4	2,54 ± 0,9	0,83
RMM PR	16	1,96 ± 0,78	10	2,44 ± 1,37	0,49
- T1	6	3,91 ± 2,36	6	2,19 ± 0,85	0,26
- T2	6	1,91 ± 0,51	6	1,55 ± 0,76	0,26
- T3	6	2,49 ± 1,6	4	2,35 ± 1,17	0,67
L SCOM PR	16	3,68 ± 3	10	2,86 ± 1,34	0,79
- T1	6	3,49 ± 2,1	6	2,71 ± 0,64	0,75
- T2	6	4,19 ± 3,72	6	3,37 ± 2,91	0,87
- T3	6	2,83 ± 1,75	4	2,89 ± 0,55	0,83
R SCOM PR					
- T1	6	3,06 ± 1,52	6	2,97 ± 1,85	0,52
- T2	6	3,16 ± 2,36	6	2,98 ± 1,53	0,75
- T3	6	2,34 ± 0,91	4	3,9 ± 1,58	0,83
LDA PR					
- T1	6	2,53 ± 1,27	6	2,64 ± 1,04	0,52
- T2	6	2,76 ± 1,87	6	3,48 ± 1,93	0,34
- T3	6	2,12 ± 0,92	4	2,59 ± 0,6	0,39
RDA PR					
- T1	6	3,13 ± 2,61	6	2,1 ± 0,72	0,42
- T2	6	2,64 ± 2,15	6	2,07 ± 1,04	0,87
- T3	6	1,87 ± 0,94	4	3,47 ± 1,59	0,14

LTA Eff Moy T1						
-	T1	6	53,33 ± 24,8	6	73 ± 30,69	0,26
-	T2	6	50,88 ± 35,36	6	63,28 ± 30,18	0,42
-	T3	6	92,88 ± 41,67	4	115,7 ± 63,09	0,67
LTA Eff Moy T2						
-	T1	6	57,52 ± 22,59	6	69,1 ± 36,08	0,52
-	T2	6	52,93 ± 34,29	6	67,8 ± 36,73	0,52
-	T3	6	94,43 ± 62,06	4	134,98 ± 62,06	0,34
LTA Eff Moy T3						
-	T1	6	59,97 ± 22,65	6	70,03 ± 26,84	0,63
-	T2	6	52,18 ± 35,67	6	79,8 ± 28,68	0,11
-	T3	6	94,43 ± 28,05	4	153,43 ± 57,46	0,06
LTA Eff Moy T4						
-	T1	6	78,58 ± 33,99	6	70,67 ± 28,39	0,63
-	T2	6	60,25 ± 38,98	6	68,02 ± 33,26	0,87
-	T3	6	88,07 ± 19,08	4	139,75 ± 41,81	<b>0,03</b>
RTA Eff Moy T1						
-	T1	6	58,6 ± 30,78	6	82,55 ± 31,59	0,2
-	T2	6	50,32 ± 29,8	6	73,2 ± 32,6	0,2
-	T3	6	79,05 ± 44,82	4	129,25 ± 22,48	0,09
RTA Eff Moy T2						
-	T1	6	64 ± 25,94	6	80,38 ± 34,44	0,42
-	T2	6	51,02 ± 27,15	6	74,07 ± 23,7	0,055
-	T3	6	75,48 ± 39,36	4	137,35 ± 35,77	<b>0,03</b>
RTA Eff Moy T3						
-	T1	6	60,73 ± 19,35	6	66,18 ± 24,33	0,63
-	T2	6	54,87 ± 35,51	6	81,28 ± 26,99	0,2
-	T3	6	89,23 ± 52,46	4	146,68 ± 40,24	0,055
RTA Eff Moy T4						
-	T1	6	73,62 ± 27,26	6	69,25 ± 27,95	0,75
-	T2	6	68,72 ± 41,79	6	70,7 ± 29,73	0,87
-	T3	6	83,62 ± 44,15	4	132,98 ± 27,51	0,09
LMM Eff Moy T1						
-	T1	6	44,73 ± 25,69	6	91,63 ± 68,45	<b>0,04</b>
-	T2	6	40,98 ± 26,03	6	67,5 ± 35,8	0,26
-	T3	6	62,98 ± 39,53	4	120,58 ± 141,91	0,52
LMM Eff Moy T2						

- T1	6	46,43 ± 24,85	6	86,42 ± 63,15	0,08
- T2	6	39,8 ± 24,09	6	73,2 ± 20,28	<b>0,03</b>
- T3	6	60,62 ± 27,89	4	130,9 ± 130,88	0,39
<b>LMM Eff Moy T3</b>					
- T1	6	65,57 ± 26,85	6	118,58 ± 47,66	0,02
- T2	6	52,87 ± 35,23	6	95,67 ± 40,91	<b>0,04</b>
- T3	6	87,1 ± 52,44	4	155,43 ± 98,42	0,054
<b>LMM Eff Moy T4</b>					
- T1	6	84,68 ± 60,26	6	123,25 ± 49,73	0,08
- T2	6	67,08 ± 49,01	6	78,02 ± 31,71	0,34
- T3	6	76,15 ± 31,11	4	147,43 ± 109,22	0,13
<b>RMM Eff Moy T1</b>					
- T1	6	35,13 ± 15,47	6	110,23 ± 79,67	<b>0,03</b>
- T2	6	30,43 ± 13,71	6	109,63 ± 54,78	<b>0,01</b>
- T3	6	74,17 ± 45,47	4	163,38 ± 137,01	0,39
<b>RMM Eff Moy T2</b>					
- T1	6	38,82 ± 16,64	6	120,22 ± 75,67	<b>0,004</b>
- T2	6	33,03 ± 10,29	6	100,12 ± 26,73	<b>0,003</b>
- T3	6	82,12 ± 42,08	4	198,78 ± 137,77	0,13
<b>RMM Eff Moy T3</b>					
- T1	6	59,32 ± 18,18	6	112,6 ± 59,88	<b>0,04</b>
- T2	6	52,67 ± 21,19	6	141,17 ± 64,35	<b>0,01</b>
- T3	6	101,4 ± 62,01	4	212,53 ± 89,14	<b>0,03</b>
<b>RMM Eff Moy T4</b>					
- T1	6	68,63 ± 27,06	6	136,93 ± 58,13	<b>0,01</b>
- T2	6	62,5 ± 28,61	6	116,97 ± 50,54	<b>0,04</b>
- T3	6	95,12 ± 48,47	4	213,85 ± 107,14	<b>0,04</b>

---

ÉVALUATION NEUROMUSCULAIRE APRÈS TRAITEMENT ORTHODONTIQUE

---

**RÉSUMÉ :** *Introduction :* En orthodontie, l'exploration neuromusculaire avec l'électromyographie de surface (EMGs) apporte un œil nouveau concernant les résultats fonctionnels de la musculature et de l'occlusion après traitement. *Objectifs :* Comparer les EMGs avant et après débaguage. *Méthode :* Douze patients avec une occlusion optimale de fin de traitement porteurs d'appareillage multibague bimaxillaire ont été inclus dans une étude pilote observationnelle entre novembre 2019 et septembre 2020. Des enregistrements électromyographiques ont été réalisés avant et après débaguage le jour même et 3 mois après. *Résultats :* Il existe des différences statistiquement significatives concernant les potentiels de repos des temporaux avant et après débaguage ( $p < 0,02$  et  $p < 0,003$ ), et les efficacités des temporaux et des masséters 3 mois après débaguage. 100% des patients avaient des contractions musculaires des masséters et des temporaux synchrones. *Conclusion :* Ces résultats suggèrent que la cohorte étudiée présente un ancrage mandibulaire optimal amélioré 3 mois après la dépose, avec une contraction isométrique synchrone et suffisante des muscles manducateurs.

---

**TITLE:** NEUROMUSCULAR ASSESSMENT AFTER ORTHODONTIC TREATMENT

---

**ABSTRACT:** *Introduction :* In orthodontics, neuromuscular exploration with surface electromyography (sEMG) sheds new light on the functional results of musculature and occlusion after treatment. *Aim:* Compare sEMG before and after debonding. *Method :* Twelve patients with optimal occlusion at the end of the treatment wearing a bimaxillary orthodontic appliance were included in a pilot observational study between November 2019 and September 2020. *Results :* Statistically significant differences were found on the resting potentials of the right and left temporalis muscles before and after debonding ( $p < 0.02$  and  $p < 0.003$ ) and on the efficiencies of the temporalis and masseter muscles, which increased 3 months after debonding, with 100% of the patients having synchronous muscle contractions of the masseter and temporalis. *Conclusion :* These results suggest that the cohort in question exhibits optimal mandibular anchorage at 3 months after removal of the appliances with synchronous and sufficient isometric contraction of the jaw muscles.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :** Orthopédie Dento-Faciale

---

**KEY WORDS :** electromyography – occlusion – debonding - orthodontic

---

**INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR:**

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex

---

**DIRECTEUR DE THÈSE :** Dr Florent DESTRUHAUT

**CO-DIRECTEUR DE THÈSE :** Dr Christiane LODTER