

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

ANNEE 2023

2023 TOU3 3013

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Blandine LE POUESARD

Le 24 février 2023

MASTICATION ET PERFORMANCES MASTICATOIRES :
ETUDE AU SEIN DU KAROLINSKA INSTITUTE EN SUEDE

Directeurs de thèse : Dr ESCLASSAN Rémi et Dr KUMAR Abhishek

JURY

Président :

Professeur DIEMER Franck

1^{er} assesseur :

Docteur ESCLASSAN Rémi

2^{ème} assesseur :

Docteur CANCEILL Thibault

3^{ème} assesseur :

Docteur KUMAR Abhishek

Membre invité :

Docteur DELRIEU Julien



➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé

Directrice du Département d'Odontologie

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjoints

Mme Sarah COUSTY
M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative

Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique

Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

Doyens honoraires

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

Chargés de mission

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

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

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

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

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

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, M. Jean-Noël VERGNES
Assistante : Mme Géromine FOURNIER
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL
Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

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

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX, Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS
Assistants : M. Joffrey DURAN, M. Antoine AL HALABI
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 : M. Clément CAMBRONNE, M. Antoine DUBUC
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY, M. Jérôme SALEFRANQUE,

BIOLOGIE ORALE

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

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

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

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants : Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT, M. Ludovic PELLETIER
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Loris BOIVIN
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE, Mme Lucie RAPP

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,
Maîtres de Conférences : M. Rémi ESCLASSAN, M. Antoine GALIBOURG,
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY, M. Anthony LEBON
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur d'Université : Mr. Paul MONSARRAT
Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Thibault CANCEILL
Assistants : M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES,
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 03 janvier 2023

Remerciements

A mes proches :

A mes parents, vous m'avez toujours soutenue dans tout ce que j'ai entrepris et vous m'avez toujours poussée à donner le meilleur de moi-même. Merci pour les valeurs que vous m'avez inculquées. Vous êtes des exemples pour moi et c'est aussi grâce à vous que j'en suis arrivée là aujourd'hui.

A mes grands-parents, vous êtes de véritables modèles et vous avez toujours été présents à mes côtés et toujours été très fiers de tout ce que j'ai pu entreprendre dans ma vie. Vous êtes aussi mon moteur au quotidien en me poussant à me dépasser.

A mon petit frère, tu es un véritable soutien depuis toujours. Tu as toujours été là dans tous les moments importants de ma vie et tu m'as toujours poussée à aller au bout de moi-même. Tu seras bientôt kinésithérapeute et je te souhaite de vivre la même émotion et la même fierté que moi aujourd'hui.

A Hugo, tu as toujours été présent dans les bons comme dans les mauvais moments et tu m'as toujours épaulée, conseillée et rassurée. C'est aujourd'hui la consécration de beaucoup d'années de travail et cela marque le début d'une nouvelle vie pour nous deux, pleine de bonheur et de futures découvertes de par le monde.

A Nicolas, Anthony, Alexandre, Marine, Anaïs, Paul, Laetitia, Chloé, Clémentine, Emilie, mes amis de toujours.

A Célia, Mathilde, Maéva, Marie, mes dentistes préférées. J'ai partagé 5 merveilleuses années avec vous qui resteront à jamais gravées dans mon esprit. A tous nos bons moments, nos soirées, nos merveilleux voyages au bout du monde, je suis très fière de vous et de l'amitié que nous avons su créer et je sais que ce n'est qu'un début.

A Rick, Jean Baptiste, Niklas, Heja, Ajay, Raphael, Anaïs, Paula, Leming, et Lisa, mes amis de Stockholm avec qui j'ai vécu une expérience merveilleuse.

A Abhishek, Anastasios, Joannis, Leming, Ayumi, Linda, mon équipe du Karolinska Institute avec qui j'ai travaillé toujours dans la bonne humeur pendant 3 mois. Merci pour votre gentillesse et votre écoute.

A notre président du jury

Monsieur le **Professeur Franck DIEMER**

- *Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire,*
- *D.E.A. de Pédagogie (Education, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail,*
- *Docteur de l'Université Paul Sabatier,*
- *Responsable du comité scientifique de la Société française d'Endodontie,*
- *Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Endodontie à Toulouse,*
- *Responsable du Diplôme universitaire d'hypnose,*
- *Co-responsable du diplôme Inter-Universitaire d'odontologie du Sport,*
- *Lauréat de l'Université Paul Sabatier.*

Vous nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Nous admirons votre prodigieuse expérience, votre approche humaine de l'exercice et vos talents de professeur.

Soyez assuré de notre considération et de notre plus profond respect.

A notre directeur de thèse

Monsieur le Docteur Rémi ESCLASSAN

- *Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,*
- *Habilitation à diriger des recherches (H.D.R.),*
- *Praticien qualifié en Médecine Bucco-Dentaire (MBD),*
- *Docteur de l'Université de Toulouse (Anthropobiologie),*
- *D.E.A. d'Anthropobiologie,*
- *Ancien Interne des Hôpitaux,*
- *Chargé de cours aux Facultés de Médecine de Toulouse-Purpan, Toulouse-Rangueil et Pharmacie (L1),*
- *Enseignant-chercheur au CAGT-UMR- 5288-CNRS,*
- *Lauréat de l'Université Paul Sabatier,*
- *Vice –Président de la commission des relations internationales UFR Santé.*

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de diriger cette thèse, apportant votre expérience et vos compétences.

Nous vous remercions du temps que vous nous avez consacré, pour l'élaboration de ce travail. Nous vous prions de bien vouloir trouver ici le témoignage de notre plus sincère gratitude, merci de votre confiance.

Merci également de nous avoir permis de réaliser un de nos plus grands projets de vie à savoir la participation au programme ERASMUS. Sans vous et votre implication dans ce projet, tout cela n'aurait pas été possible, et nous vous sommes grandement reconnaissants.

A notre jury

Monsieur le **Docteur Thibault CANCEILL**

- *Maitre de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire,*
- *Docteur en sciences des matériaux,*
- *Master 1 Santé Publique,*
- *Master 2 de Physiopathologie,*
- *CES Biomatériaux en Odontologie,*
- *D.U.de Conception Fabrication Assistées par Ordinateur en Odontologie (CFAO),*
- *D.U. de Recherche Clinique en Odontologie,*
- *Attestation de Formation aux gestes et Soins d'Urgence Niveau 2.*

Nous sommes très reconnaissants de votre présence à notre jury de thèse. Nous vous remercions de votre disponibilité et de vos qualités humaines et cliniques dans le service d'odontologie qui ont su nous guider jusqu'à ce jour.

Merci pour tout le dévouement que vous avez pu nous apporter tout au long de ces études que ce soit en cours, en clinique ou bien même au cours de nos remplacements.

Soyez assuré de notre considération et de notre plus profond respect.

Doctor Abhishek KUMAR (co-directeur de thèse), Stockholm

- *BDS,*
- *PhD,*
- *Research Specialist : Unit of Oral Rehabilitation : Division of Oral Diagnostics and Rehabilitation, Department of Dental Medicine, Karolinska Institutet, Sweden.*

Thank you for hosting us in your research laboratory and for allowing me to participate in the wonderful study project at the Karolinska Institutet Oral Rehabilitation Unit.

You have been a very good mentor and have always given me good advices.

We would like to express our gratitude to you.

Monsieur le **Docteur Julien DELRIEU**

- *Assistant Hospitalier-Universitaire d'Odontologie,*
- *Docteur en Chirurgie Dentaire,*
- *CES de Prothèse Fixée,*
- *Master 1 de Santé Publique,*
- *Master 2 Anthropobiologie intégrative.*

Nous vous remercions de votre présence à notre jury de thèse.

Nous vous remercions également pour toute l'implication qui vous mettez depuis toujours dans les projets de la faculté et pour tous les outils que vous avez pu développer qui nous ont été d'une grande aide au cours de nos années cliniques.

Nous vous remercions pour votre aide toute au long de ces années d'étude aussi bien à la faculté dentaire qu'à l'extérieur au cours de nos déplacements.

Soyez assuré de notre considération et de notre plus profond respect.

Sommaire

Introduction

A. En français	14
B. En anglais	18
I. <u>Physiologie de la mastication</u>	21
A. Définition	21
B. Cinétique masticatoire	21
a. Cycles masticatoires	21
b. Phases de la mastication	22
c. Forces masticatoires	22
C. Acteurs de la mastication	22
a. Les muscles impliqués dans la mastication	22
i. Les muscles masticateurs	22
1. Présentation	22
2. Coordination au cours du cycle masticatoire	23
ii. Les muscles linguaux	24
iii. Les muscles faciaux	24
b. Les dents	25
i. Présentation	25
ii. Mouvements dentaires	25
c. L'articulation temporo-mandibulaire (ATM)	26
d. Le contrôle neurologique	27
i. Présentation	27
ii. Récepteurs somesthésiques	28
iii. Proprioception et système trigéminal	29
II. <u>Troubles de la mastication</u>	32
A. Causes	32
a. Vieillesse	32
i. Modifications musculaires et motrices	32
ii. Modifications salivaires	32
iii. Modifications gustatives	32
iv. Modifications neurologiques	33
v. Modifications dentaires	33
b. Dentaire	33
i. Perte dentaire et parodontite	33
ii. Etat bucco-dentaire	34
iii. Malocclusions	35

c. DTM (Désordres Temporo-Mandibulaire).....	35
i. Désordres articulaires	35
ii. Désordres musculaires.....	36
d. Pathologies neurologiques.....	37
B. Conséquences	38
a. Troubles du système digestif	38
i. Troubles de la déglutition	38
ii. Troubles de la digestion	38
iii. Troubles de la nutrition.....	39
iv. Troubles dentaires.....	39
b. Troubles psychologiques	39
c. Troubles neurologiques	40
C. Répondre à l'édentement : réhabilitation prothétique	41
a. Prothèses amovibles dentaires	41
b. Implants dentaires	43
III. <u>Evaluation des performances masticatoires</u>.....	45
A. Tests subjectifs	45
B. Tests objectifs	45
a. Simples.....	45
i. Impliquant les dents	45
1. Les unités dentaires.....	45
2. Le coefficient masticatoire	45
ii. Impliquant les muscles	46
1. La force de morsure.....	46
2. L'électromyographie (EMG)	46
iii. Impliquant l'ATM	47
1. Le tracking mandibulaire.....	47
b. Composite	48
i. Granulométrie et tamisage	48
ii. Chewing-gum	49
iii. Développement d'un aliment test au laboratoire	49
1. Optosil®.....	49
a. Présentation	49
b. Procédé de fabrication	50
c. Mon protocole	51
i. Description	51
ii. Résultats	51
2. Aliment modèle conçu au laboratoire	52
a. Cahier des charges	52
b. Protocole.....	53

IV. <u>Protocole d'évaluation des performances masticatoires au sein du Karolinska Institute</u>	54
A. Contexte	54
B. Procédé	55
V. <u>Mon étude : conditions de prise photographique de l'aliment test</u>	60
A. Introduction	60
B. Objectif	62
C. Matériel et méthodes	62
a. Paramètres évalués	64
b. Conditions	64
c. Analyse des images	65
D. Résultats	67
E. Analyse et discussion	74
F. Conclusion	76
G. Références	77
VI. <u>Améliorer les performances masticatoires, l'objectif de demain</u>	80
A. Développement d'une application	80
B. Exercice de rééducation de kinésithérapie	81
C. Jeu développé pour améliorer sa mastication	81
D. Réapprendre à manger	82
<u>Conclusion</u>	84
<u>Bibliographie</u>	86
<u>Annexes</u>	92

Introduction

A. En français

La mastication a une importance fondamentale en physiologie humaine et elle correspond à la première étape de la digestion. (1) Une « bonne digestion », c'est une bonne dégradation des aliments en nutriments, une bonne absorption intestinale et une bonne distribution de ces nutriments dans le corps.

Il s'agit donc d'un processus physiologique primordial nécessaire au bon fonctionnement du corps humain.

Dans ce contexte, la mastication a un impact positif sur les muscles et les os de la structure oro-faciale mais également sur la cognition et la santé buccodentaire (2). Elle participe activement à la qualité de vie et à ce titre, elle doit être conservée et correctement entretenue le plus longtemps possible.

C'est pourquoi, un développement de désordres masticatoires peut avoir de lourdes répercussions physiologiques et occasionner des désordres d'ordre pathologique. (2)

En médecine, l'évaluation de la santé des patients nécessite une approche holistique et biopsychosociale. (2) Il faut s'intéresser à la biologie de l'humain et aux facteurs génétiques qui lui sont intrinsèques, mais il est également indispensable de concevoir l'être humain dans son ensemble et de prendre en compte les facteurs épigénétiques, environnementaux, qui peuvent avoir un impact sur son développement physiologique.

Aujourd'hui, l'espérance de vie de la population a augmenté, passant de 70,2 ans pour les hommes et 78,4 ans pour les femmes à 79,8 pour les hommes et 85,7 pour les femmes ans entre 1980 et 2019. (3) Nous observons un recul de la mortalité. En effet, notre société offre une meilleure prise en charge des cancers, il y a une amélioration des conditions socio-économiques et hygiéniques et une lutte efficace contre les maladies infectieuses et les épidémies.

Épidémiologiquement, en France, on compte 13 millions de personnes âgées de 65 ans et plus. (3) Parmi ces 13 millions, 7 millions ont entre 65 et 74 ans et 6 millions ont plus de 75 ans. (3) Ces chiffres ne cessent d'augmenter. Néanmoins, au-delà de l'allongement de l'espérance de vie, il faut vieillir en bonne santé. L'objectif actuel est de tendre vers un vieillissement sans incapacité avec des patients autonomes.

Cependant, dans le monde, et en Europe encore aujourd'hui, le taux de morbidité reste important et le vieillissement dit "réussi" se fait rare. (4)

En effet, avec l'âge, de nombreux patients présentent des pertes dentaires (liées en grande partie à des soucis parodontaux non traités (5)), et ces dents absentes ne sont pas remplacées. Or, les dents sont indispensables à la mastication. Les pertes dentaires ont des impacts considérables sur la qualité de vie du patient âgé aussi d'un bien au niveau physique, moteur que psychologique. (6)

Pour répondre à ces édentements, les solutions proposées sont de l'ordre prothétique. Lorsque l'édentement est plural, une prothèse amovible partielle ou

totale (avec adjonction d'implants dans certaines situations) est souvent posée. A l'inverse, quand l'édentement est unitaire, cela se traduit très souvent par une pause implantaire. Les implants semblent être la solution la plus confortable car ils offrent une meilleure rétention à long terme au patient. (7)

Néanmoins, après la pose implantaire ou la remise d'une prothèse amovible, le praticien va le plus souvent donner quelques recommandations au patient notamment quant à l'entretien de sa prothèse mais il n'y a pas d'accompagnement post prothétique au travers de programme de rééducation et ceci peut avoir un impact sur les capacités masticatoires du patient notamment sur son efficacité masticatoire. (1).

Au contraire d'un patient à qui on pose une prothèse de genou par exemple. Celui-ci va être suivi pendant 6 mois par un kinésithérapeute, il l'accompagne par des massages, des drainages et des exercices dans sa rééducation pour que le patient s'adapte progressivement à ce nouveau corps étranger avec qui il doit composer.

En dentisterie prothétique, le patient reçoit le plus souvent sa prothèse sans être véritablement accompagné dans sa rééducation. Il n'y a pas de réelle évaluation à long terme afin de voir si cette prothèse permettra de répondre correctement à ses attentes et si elle rétablira correctement la fonction masticatoire. Or, il y a comme pour tout acte médical avec pose d'une prothèse un temps d'adaptation qui passe par des étapes de rééducation. Un patient avec une prothèse de genou qui n'a pas fait de kinésithérapie aura des performances moins bonnes qu'un patient qui aura suivi et aura été accompagné par un programme de rééducation. (8) Et cela aura un impact considérable sur la qualité de vie du patient.

La fonction masticatoire diminuant avec le temps, l'objectif sera que les prothèses remises aux patients ou les implants soient tout aussi performants que des dents naturelles pour la mastication, sinon cela pourra à terme, causer de nombreux soucis au niveau digestif et occasionner des dénutritions. (9)

Fort de ce constat, il apparaît primordial d'évaluer les capacités masticatoires d'un patient après toute réhabilitation orale.

Dans ce contexte, j'ai pu participer à des études visant à évaluer les performances masticatoires des patients après réhabilitation implantaire au sein du Karolinska Institute à Stockholm.

J'ai eu l'opportunité de participer à un programme de recherche international grâce au programme « ERASMUS Stage ». Ce programme vise à donner aux étudiants, la possibilité de séjourner à l'étranger pour renforcer leurs connaissances, leurs compétences et pour promouvoir les relations internationales. (10)

Ainsi, après un entretien avec M. Michel ATTIGBE et le Dr. Rémi ESCLASSAN, mes directeurs du programme d'échange international, j'ai pris la décision d'effectuer un séjour de plusieurs mois à l'étranger afin de me confronter à de nouvelles méthodes de travail et à une autre culture.

J'ai choisi le Karolinska Institute car c'est une université médicale, basée à Stockholm en Suède et qui est l'un des centres de recherche médicale et de groupements universitaires les plus importants et les plus réputés du monde. (11)

La Suède a toujours été une destination qui m'a énormément attirée et le programme ERASMUS a toujours pour moi été un objectif au cours de mes études car il offre des opportunités aussi bien au niveau professionnel, que sur le plan humain et il permet de s'ouvrir aux relations internationales. J'avais à cœur de découvrir de nouvelles méthodes de travail, de construire et élaborer des projets avec une équipe, de perfectionner mon anglais et de voir le fonctionnement d'un laboratoire de recherche à l'étranger.

J'ai pu travailler dans l'unité de réhabilitation orale dirigée par le Dr Matts TRULSSON et le Dr Anastasios GRIGORIADIS qui ont pour principale thématique de recherche l'évaluation de la régulation sensorimotrice orale et la fonction masticatoire.

Cette unité de recherche est spécialisée dans les études comportementales et cliniques dans le domaine des neurosciences oro-faciales et des procédures de réhabilitation orale. Elle s'interroge essentiellement sur les mécanismes somatosensoriels et moteurs de base du système masticatoire, notamment dans l'étude de l'influence de la perte de sensibilité tactile due à la perte des dents et de la réhabilitation ultérieure par des prothèses dentaires, y compris les implants dentaires, sur la capacité de mordre et de mâcher de l'individu. Elle tend à développer de nouvelles techniques pour évaluer et étudier la physiologie motrice et les mécanismes sensori-moteurs impliqués dans le contrôle des comportements de morsure et de mastication.

Elle participe également à des études cliniques visant à déterminer comment l'altération de la fonction masticatoire contribue au développement de la malnutrition, des troubles cognitifs et de la qualité de vie en général. Les connaissances acquises à partir des expériences fondamentales sont directement mises en œuvre dans la pratique clinique pour restaurer et optimiser les procédures de réhabilitation orale. L'objectif de leur recherche tend à l'avenir à faciliter le développement de nouvelles méthodes cliniques et de routines efficaces pour une meilleure régulation sensorimotrice et une optimisation de la fonction de mastication. (12)

J'ai donc travaillé avec cette équipe et participé à leur passionnant projet d'étude. Cette expérience, je l'ai vécue aux côtés de mes deux maîtres de stage, le Professeur Abhishek KUMAR et le Professeur Anastasios GRIGORIADIS, ainsi qu'avec trois autres chercheuses internationales, Leming, Ayumi et Linda (figures 1 et 2).



Figures 1 et 2. Photos de l'équipe de laboratoire de réhabilitation orale

Dans une première partie, nous aborderons la physiologie de la mastication.

Dans une deuxième partie, nous décrivons les troubles de la mastication.

Dans une troisième partie, sera traitée l'évaluation des performances masticatoires.

Enfin, dans **les quatrièmes et cinquièmes parties,** nous décrivons plus spécifiquement nos recherches effectuées au sein du Karolinska Institute sous la direction des docteurs Abhishek KUMAR et Anastasios GRIGORIADIS.

B. En anglais :

Mastication is the first step in digestion (1). It is of fundamental importance and is all too often neglected. Good digestion means good breakdown of food into nutrients, good intestinal absorption and good distribution of these nutrients in the body.

It is therefore an essential physiological process necessary for the proper functioning of the human body. (2)

This is why the development of masticatory disorders can have serious physiological repercussions and cause pathological disorders.

In medicine, the assessment of patients' health is a complex task that requires a holistic and biopsychosocial approach. (2) It is necessary to look at the biology of the human being and the genetic factors that are intrinsic to it, but it is also essential to conceive of the human being as a whole and to take into account the epigenetic and environmental factors that can have an impact on its physiological development.

Today, thanks to the great advances in research and medical progress, the life expectancy of the population has increased. We are seeing a decline in mortality. Indeed, our society offers a better treatment of cancers, there is an improvement in socio-economic and hygienic conditions and an effective fight against infectious diseases and epidemics.

Epidemiologically, in France, there are 13 million people over 65 years old. Of these 13 million, 7 million are between 65 and 74 years old and 6 million are over 75 years old. These numbers are constantly increasing. (3) Nevertheless, beyond the increase in life expectancy, we must age in good health. The current objective is to move towards disability-free aging with independent patients.

However, in the world, and in Europe even today, the morbidity rate remains high and so-called "successful" aging is rare. (4)

Indeed, with age, many patients present dental losses (linked in large part to untreated periodontal problems) (5) and these missing teeth are not replaced. Teeth are essential for chewing. Dental loss has a considerable impact on the quality of life of the elderly patient, both physically and psychologically. (6)

To respond to these edentulousnesses, the proposed solutions are of a prosthetic nature. When the edentulousness is plural, a partial or total removable prosthesis (with the addition of implants in certain situations) is often placed. On the other hand, when the edentulousness is unitary, this very often results in an implant break. Implants seem to be the most comfortable solution because they offer better long-term retention for the patient. (7)

Nevertheless, after the implant placement or the delivery of a removable appliance, the dentist will give some basic recommendations to the patient, especially regarding the maintenance of his prosthesis, but there is no post-prosthetic support through a re-education program and this can have an impact on the patient's masticatory abilities, especially on his masticatory efficiency. (1)

This is in contrast to a patient who is fitted with a knee prosthesis, for example. The latter will be followed for 6 months by a physiotherapist, who will accompany him by massages, drainages and exercises in his re-education so that the patient adapts progressively to this new foreign body with which he must deal.

In prosthetic dentistry, the patient is given a new prosthesis or implants and is not accompanied in his rehabilitation. We do not evaluate in the long term if this prosthesis will allow to answer correctly to his expectations and if it will restore correctly the masticatory function. However, as with any medical act involving the fitting of a prosthetic device, there is a period of adaptation which includes stages of re-education. A patient with a knee prosthesis who has not undergone physical therapy will necessarily have poorer performance than a patient who has undergone and been accompanied by a rehabilitation program. And this has a considerable impact on the patient's quality of life. (8)

Because naturally the masticatory function decreases with time, the objective is that the prostheses given to the patients or the implants are as efficient as natural teeth for mastication, otherwise it can in the long run with age, cause many problems at the digestive level and cause denutrition. (9)
It is therefore essential to evaluate a patient's masticatory abilities after any oral rehabilitation.

It is thus within the Karolinska Institutet in Stockholm, Sweden, that I was able to participate in studies aiming at evaluating the masticatory performances of patients after implant rehabilitation.

I had the chance to participate in an international research program thanks to the ERASMUS Internship program. This program aims to give students the opportunity to stay abroad to strengthen their knowledge, skills and promote international relations. (10)

The University of Dental Surgery of Toulouse offered me the opportunity to study for several months in another country in order to discover a new culture and new working methods.

Thus, after a meeting with Mr. Michel ATTIOGBE and Dr. Rémi ESCLASSAN, my international exchange program directors, I made the decision to spend several months abroad.

I chose the Karolinska Institute because it is a medical university, based in Stockholm, Sweden, and is one of the largest and most renowned medical research centers and academic groups in the world. It awards the Nobel Prize in Physiology or Medicine every year. Sweden has always been a destination that has attracted me enormously and the ERASMUS program has always been a goal for me during my studies because it offers opportunities on a professional level as well as on a human level and it allows me to open up to international relations. I wanted to discover new working methods, to build and develop projects with a team, to improve my English and to see how a research laboratory works abroad. (11)

I was able to work in the oral rehabilitation unit chaired by Dr. Matts TRULSSON and Dr. Anastasios GRIGORIADIS whose main subject of study is the evaluation of oral sensorimotor regulation and masticatory function.

This research unit is specialized in behavioral and clinical studies in the field of orofacial neuroscience and oral rehabilitation procedures. It focuses on the basic somatosensory and motor mechanisms of the masticatory system, particularly in the study of the influence of the loss of tactile sensitivity due to tooth loss and subsequent rehabilitation with dental prostheses, including dental implants, on the

individual's ability to bite and chew. She is developing new techniques to evaluate and study the motor physiology and sensory-motor mechanisms involved in the control of biting and chewing behaviors. She is also involved in clinical studies to determine how impaired chewing function contributes to the development of malnutrition, cognitive impairment and overall quality of life. The knowledge gained from the basic experiments is directly implemented in clinical practice to restore and optimize oral rehabilitation procedures. The goal of their research is to facilitate the development of new clinical methods and effective routines for better sensorimotor regulation and optimization of masticatory function. (12)

I worked with this team and participated in their exciting study project. I had the opportunity to work with my two supervisors, Professor Ahbishek KUMAR and Professor Anastasios GRIGORIADIS, as well as with three other international researchers, Leming, Ayumi and Linda.

I. Physiologie de la mastication

A. Définition :

La mastication est un processus physiologique qui correspond à la première étape de la digestion. (1) Elle fait intervenir différentes structures osseuses, musculaires et articulaires que sont la mandibule et les muscles masticateurs (notamment les masséters et des temporaux). (12)

Elle fait également intervenir les dents et se construit en différentes étapes : Les aliments sont, dans un premier temps, coupés par les incisives puis déchirés par les canines. Ils sont enfin broyés par les molaires et les prémolaires. Cette séquence s'articule autour d'un cycle masticatoire rythmé par des signaux neuronaux. Les mouvements masticatoires sont permis par l'action conjointe des muscles masticateurs et oro-faciaux ainsi que des muqueuses telles que les lèvres et les joues.

A terme, est constitué ce que l'on appelle un bolus alimentaire qui correspond à l'ensemble des éléments mastiqués ainsi qu'à de la salive. C'est ce bolus qui est avalé au cours de la déglutition. La salive a un rôle indispensable à la constitution de ce bolus alimentaire. Il doit être suffisamment cohésif pour être dégluti et digéré correctement. (13)

Les mouvements masticatoires ont également un rôle essentiel au niveau cérébral puisqu'ils informent le cortex quant à la nature des aliments et en retour le cerveau enclenche des mécanismes visant à faciliter le transit intestinal et l'assimilation des aliments par le corps. La mastication initie donc avant tout le processus digestif. (14)

La mastication implique également le psychisme de l'individu. En effet l'individu va choisir par lui-même ses aliments en fonction de ses préférences socio-culturelles. (15)

B. Cinétique masticatoire

a. Les cycles masticatoires

La mastication s'articule en cycles masticatoires organisés de manière rythmique. (16) Ces cycles sont évalués en faisant ce que l'on appelle du tracking mandibulaire. On évalue la trajectoire dans l'espace du point inter-incisif mandibulaire grâce à un aimant que l'on fixe sur les faces linguales des incisives mandibulaires. (17) Cette méthode d'évaluation sera décrite plus précisément plus tard dans cet ouvrage.

Dans cette succession, le sujet a réalisé un cycle masticatoire quand le point inter-incisif revient en position initiale, après une ouverture et une fermeture. Un cycle masticatoire correspond donc à une phase d'ouverture puis de fermeture et d'occlusion. Ce cycle a une durée moyenne de 1 seconde.

Un cycle masticatoire se décrit selon trois plans : (13)

- Dans le plan sagittal, on a une propulsion ou une rétropropulsion de la mandibule.
- Dans le plan transversal, une diduction.

- Et dans le plan frontal un abaissement ou une élévation de celle-ci.

b. Les phases de la mastication

La séquence masticatrice correspond à l'ensemble des mouvements réalisés par le patient jusqu'à la déglutition de l'aliment. Elle se découpe en trois phases qui sont définies en fonction de leur rôle dans les transformations réalisées sur l'aliment et la forme des cycles masticatoires. (18)

Ces phases sont nommées (Gaspard, 2001) :

- La série préparatoire qui consiste à amener les aliments sous les arcades dentaires. Lors de cette phase, les muqueuses jouent un rôle important car elles permettent de rassembler les aliments qui sont fractionnés par les incisives et les canines avant d'être amenés au niveau des molaires grâce aux mouvements linguaux.
- La série de réduction qui consiste à diminuer la granulométrie des aliments. Ils sont écrasés par les prémolaires et les molaires.
- La série de pré-déglutition où les aliments se mélangent à la salive pour constituer ce que l'on appelle le bolus alimentaire qui sera par la suite placé en position postérieure au niveau de la langue avant d'être dégluti.

c. Les forces masticatoires

Les muscles masticateurs sont des muscles puissants qui développent des forces considérables. La force maximale de serrage est plus importante au niveau des molaires que des incisives avec une force de 50 kg contre une force de 10 kg. Ces forces développées lors de la mastication peuvent être très variables d'un sujet à un autre et selon le type d'aliment. Elles varient aussi au cours de la mastication : elles ont tendance à augmenter au fur à mesure des cycles masticatoires. (18)

C. Les acteurs de la mastication

a. Les muscles impliqués dans la mastication

i. Les muscles masticateurs

1. *Présentation*

Les mouvements mandibulaires nécessitent l'action coordonnée de plusieurs muscles. Ces muscles sont tous pairs et symétriques. Ils peuvent être classés en deux catégories (19) :

- Les muscles élévateurs qui regroupent les masséters et les muscles ptérygoïdiens internes (ou médiaux) qui sont élévateurs et propulseurs et les muscles temporaux qui sont élévateurs et rétropulseurs de la mandibule. (20)
- Les muscles abaisseurs avec les muscles ptérygoïdiens externes (ou latéraux) qui sont abaisseurs et propulseurs et les muscles sus-hyoïdiens, à savoir les muscles mylohyoïdiens, géniohyoïdiens et digastriques qui sont abaisseurs et rétropulseurs. (20)

Les faisceaux postérieurs du muscle temporal permettent le retour du condyle articulaire lors de la fermeture buccale (celui-ci ayant eu un mouvement vers l'avant et en bas lors de l'ouverture). Les faisceaux antérieurs du muscle temporal et le muscle masséter permettent une élévation de la mandibule et donc la fermeture buccale. (20)

- L'innervation de ces muscles (20), comme illustrée par la figure 3, se fait par :
- Le nerf maxillaire inférieur qui reçoit la branche motrice du nerf trijumeau (V).
 - Une branche du nerf facial (VII).
 - Une branche du nerf grand hypoglosse (XII).

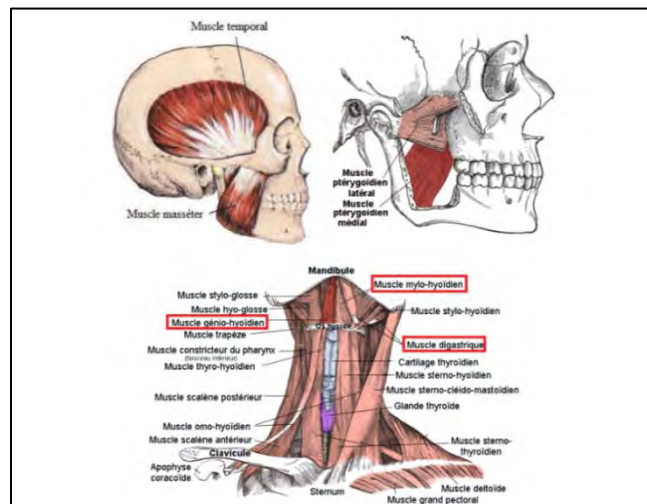
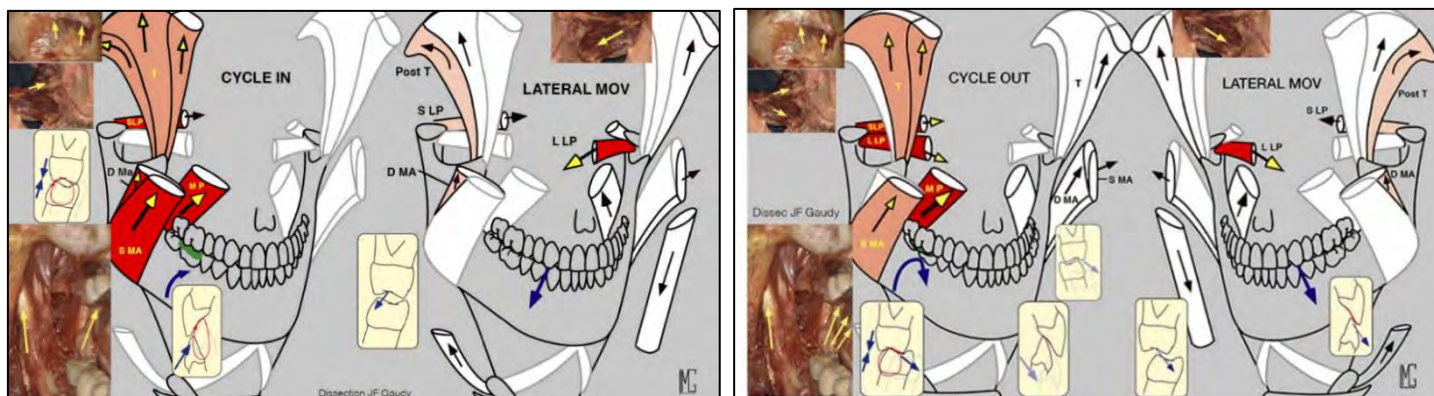


Figure 3 : muscles masticateurs. Source : Thèse Lucile CASTEX, repérage des troubles de la mastication, diplôme d'orthophonie.

2. Coordination au cours du cycle masticatoire

Pendant la phase d'ouverture, ce sont les muscles abaisseurs de la mandibule qui sont activés à savoir les ptérygoïdiens externes et les sus-hyoïdiens.

En ce qui concerne la phase de fermeture, le muscle ptérygoïdien médial situé du côté non travaillant se contracte en premier, dès le début de la fermeture. Il amène la mandibule en haut et vers le côté travaillant. Celui du côté travaillant s'active juste après, pour stabiliser la mâchoire dans un premier temps. Les muscles temporaux et masséter se contractent ensuite, de façon simultanée. Tous les muscles élévateurs restent alors actifs jusqu'à la fin du cycle. Ils augmentent leur activité à partir du contact avec les aliments. La phase de broiement est la période où ils développent le plus de force. (Cf. figure 4A et B) (21)



Figures 4A et B : activité musculaire au cours de la mastication. Source : *Mastication : Role of Muscles – OCCLUSAL FUNCTION* (codeix.fr) Le Gall 2015

ii. Les muscles linguaux

La langue sert à malaxer le bol alimentaire puis à le propulser en arrière, vers l'oropharynx. Pour cela, différents muscles interviennent notamment les muscles génioglosse, styloglosse et transverse. (22)

Les muscles linguaux se synchronisent aux muscles mandibulaires. A l'ouverture, ce sont les muscles protracteurs et abaisseurs de la langue qui s'activent. A la fermeture, le muscle styloglosse et les muscles éleveurs de la langue s'activent à leur tour. (Cf. Figure 5)

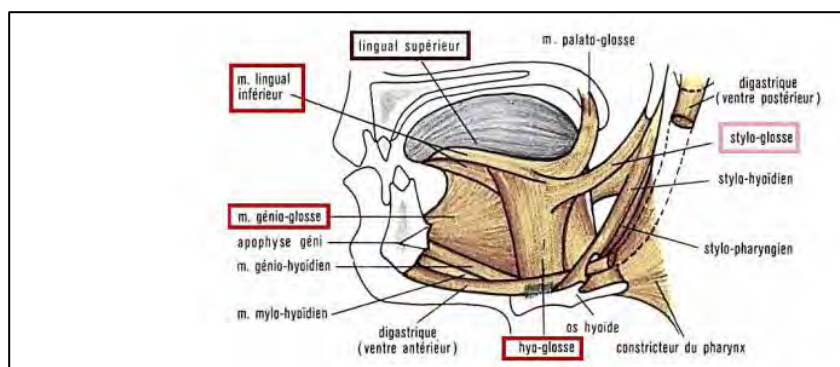


Figure 5 : muscles linguaux. Source : *medias.larrouse.fr*

iii. Les muscles faciaux

Leur implication est minime en comparaison aux muscles masticateurs et linguaux. On note cependant que lors de la phase d'ouverture, l'activité des muscles buccinateurs et de l'orbiculaire des lèvres est importante. (23)

b. Les dents

i. Présentation

Les dents sont indispensables à la mastication. On note qu'il y a trois groupes dentaires qui diffèrent au niveau de leurs morphologies (24) :

- Les incisives qui sont tranchantes et qui permettent la préhension et la section des aliments.

- Les canines qui ont un véritable rôle de guidage lors du cycle masticatoire lors des mouvements de latéralité. Elles servent également à déchiqueter les aliments.

- Les dents cuspidées, c'est-à-dire les prémolaires et les molaires, qui assurent la dilacération et l'écrasement progressif de l'aliment afin qu'il puisse être dégluti.

Ce dernier groupe correspond donc à des dents présentant des cuspides qui sont des formations anatomiques volumineuses situées sur la face occlusale des prémolaires et des molaires. Il y a deux catégories de cuspides :

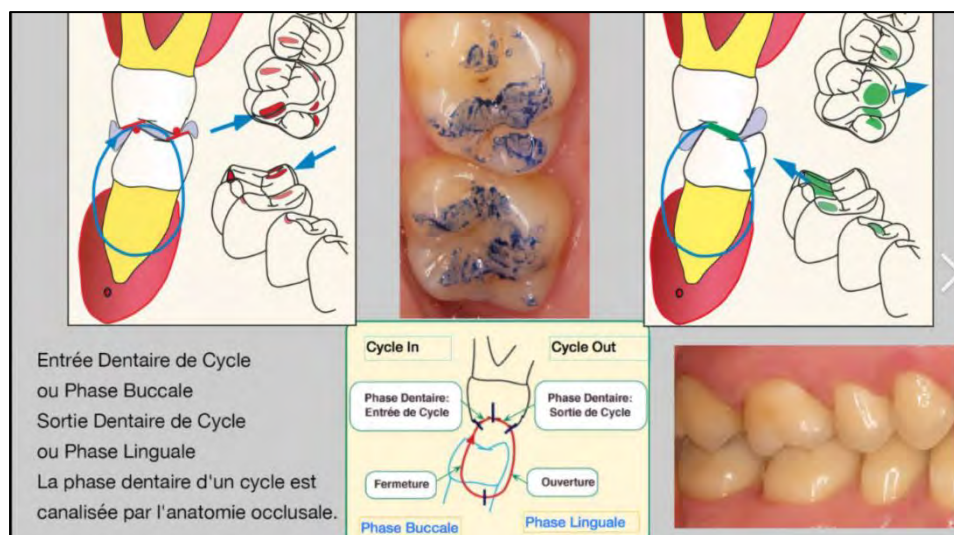
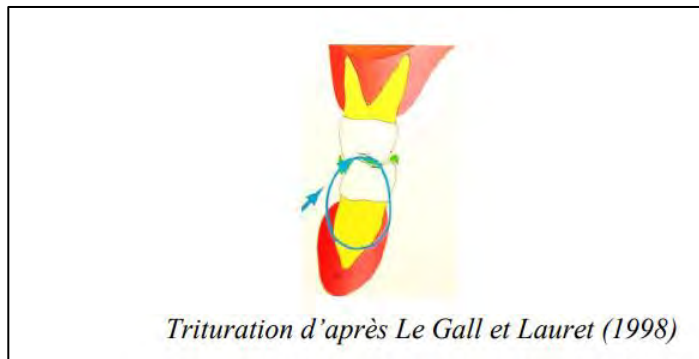
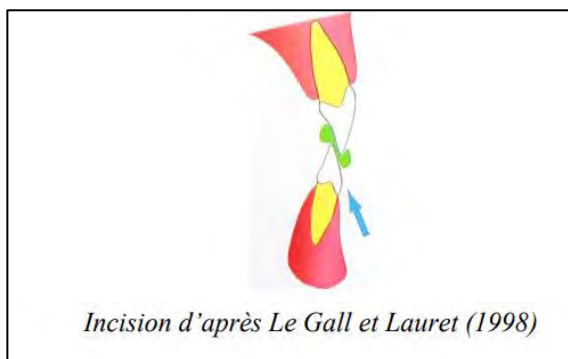
- les cuspides d'appui qui supportent le mouvement d'occlusion. Ce sont les cuspides vestibulaires au niveau de l'arcade inférieure et les cuspides palatines au niveau de l'arcade supérieure.

- les cuspides guides qui guident l'occlusion en début et fin de cycle masticatoire. Il s'agit des cuspides linguales pour sur l'arcade inférieure et des cuspides vestibulaires pour l'arcade supérieure.

ii. Mouvements dentaires

Au niveau des mouvements dentaires on retrouve deux principaux mouvements, l'incision et la dilacération ou trituration. L'aliment est dans un premier temps sectionné au niveau de la zone antérieure puis grâce à la langue et aux muscles faciaux, l'aliment est amené dans la zone postérieure qui est la zone triturante. Il y a donc un guidage antérieur au niveau des incisives avec en parallèle une désocclusion postérieure du côté travaillant et non travaillant grâce au guidage canin puis une fois que l'aliment arrive en zone postérieure il y a un mouvement circulaire au niveau des dents cuspidées pour permettre des contacts et des guidages postérieurs fonctionnels. (24)

A noter le rôle primordial de la canine dans le cycle masticatoire qui va servir de guide en entrée de cycle avec la canine du côté homolatéral et en sortie de cycle avec la canine controlatérale. (Cf. Figures 6 A, B, C).



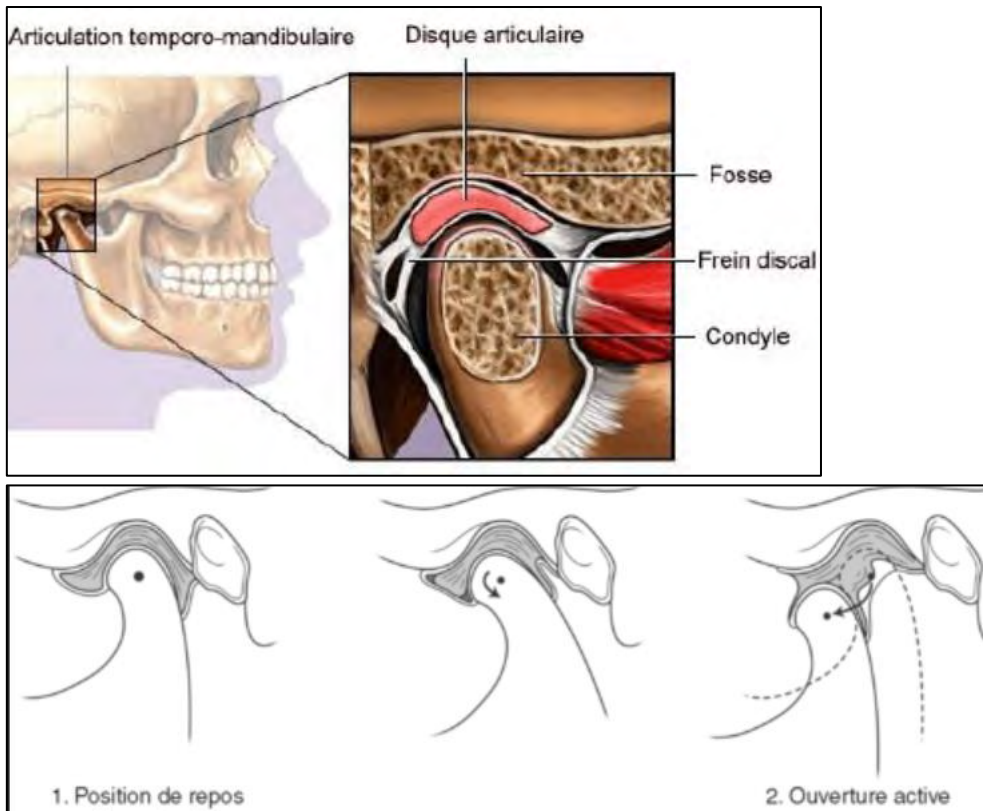
Figures 6 A, B, C : mouvements dentaires au cours du cycle masticatoire. *Source : Objectifs – OCCLUSAL FUNCTION (mastication-ppp.net) (Le Gall 2015)*

c. L'articulation temporo-mandibulaire (ATM)

L'articulation temporo-mandibulaire est l'articulation principale de la mâchoire. Elle est composée de deux structures osseuses que sont le condyle de la mandibule et la fosse temporale au niveau de la base du crâne. Entre elles s'interpose une structure cartilagineuse communément nommée le ménisque ou disque articulaire, le tout étant encloisonné dans une capsule fibreuse.

La mandibule est donc grâce à cette articulation le seul os mobile du crâne. C'est cette articulation qui, conjointement à l'activité des muscles masticateurs, va être le moteur des mouvements masticatoires. (25)

Au cours de la mastication on a donc un déplacement des condyles mandibulaires. Pendant la phase d'ouverture, les deux condyles s'abaissent et avancent. Pendant la fermeture, les deux condyles reprennent une position haute (Cf. Figures 7 A et B)



Figures 7 A et B : Articulation temporo-mandibulaire (ATM) et activité articulaire lors de la mastication. *Source : Articulation temporo-mandibulaire (ATM): - MAËVA GUIRAL RUPÉ OSTÉOPATHE D.O NICE (weebly.com)*

d. Le contrôle neurologique :

i. Présentation

Au cours des dernières décennies, le domaine des neurosciences oro-faciales a évolué et présente une riche littérature aujourd'hui. L'émergence des neurosciences oro-faciales a conduit à de nombreuses études qui ont fourni des connaissances sur le contrôle sensorimoteur de plusieurs comportements oro-faciaux tels que mordre, mâcher et saliver. De nouvelles connaissances ont également été acquises sur les voies neuronales et les circuits cérébraux sous-jacents à chacune de ses fonctions, ainsi que sur le rôle des processus non neuronaux et de la plasticité dans la modification de ces fonctions notamment dans l'adaptation et dans l'apprentissage de la rééducation oro-faciale. (26)

Le comportement masticateur humain est un comportement sensori-moteur de grande complexité. Il est bénéfique pour l'organisme car il active la digestion par la fragmentation des aliments, il améliore la perception du goût et de la texture des aliments, il préserve la santé buccodentaire en stimulant la production salivaire.

Ainsi, une mastication altérée peut avoir des conséquences néfastes sur la capacité de fragmentation des aliments, l'ingestion de ces aliments, et la qualité de vie du patient concerné. (27)

Le contrôle neurologique régule les mouvements rythmiques de la mâchoire associés à la mastication en coordonnant les activités des différents muscles

impliqués. Il doit aussi adapter cette activité motrice au type d'aliment et aux conditions extérieures. La mastication est un acte volontaire régulé par un générateur de rythme et un programme central. Ce programme central se base sur l'expérience : il va associer l'aliment vu, mis en bouche, à un aliment déjà connu et adapter ainsi la mastication. (28)

Au cours de la mastication, le système nerveux central (SNC) initie les comportements de mastication et de morsure, tandis que les récepteurs sensoriels périphériques intégrés dans diverses structures oro-faciales (muscles masticateurs, ATM, parodonte) sont responsables de l'affinement de ces comportements. Parmi les modulateurs de la mastication on retrouve notamment les récepteurs somesthésiques :

ii. Les récepteurs somesthésiques

On retrouve différents types de récepteurs somesthésiques qui agissent sur la régulation du tonus postural de la mandibule : (29)

- Des récepteurs au niveau de la peau qui sont des mécanorécepteurs, à savoir des récepteurs qui captent les variations de pression : on retrouve par exemple le corpuscule de Pacini, le disque de Meckel et le corpuscule de Ruffini.
- Des nocicepteurs qui captent la douleur.
- Des récepteurs oro-faciaux au niveau des lèvres, des joues, qui donnent des informations sur le milieu extérieur, notamment quand par exemple les lèvres rentrent en contact avec la nourriture.
- Et des propriocepteurs qui sont des capteurs positionnels et de pression que l'on retrouve essentiellement dans le desmodonte. Ces récepteurs informent sur l'étirement du ligament parodontal en fonction de la charge associée.

En effet, dès le contact entre la dent et l'aliment, ces récepteurs fournissent des informations importantes sur les propriétés mécaniques des aliments. Ils signalent des informations sensorielles sur les points d'attaque, la direction des charges dentaires et l'intensité de la force avec une sensibilité élevée et ce même pour les forces les plus faibles. Ces informations sont utilisées par la suite par le Système Nerveux Central (SNC) pour contrôler et positionner les morceaux de nourriture correctement au niveau des dents mais aussi afin d'adapter l'amplitude et la force des mouvements masticatoires. Il y a donc une réponse musculaire appropriée dans les phases de puissance à venir grâce à un rétrocontrôle lié à ces récepteurs.

Ainsi, Ils jouent donc un rôle indispensable dans le contrôle sensori-moteur de la mastication. (29) (30) (31)

C'est pourquoi, l'absence de ces propriocepteurs desmodontaux est associée à une perturbation de ce contrôle. Sans ces récepteurs, comme c'est notamment le cas pour les patients porteurs d'implants dentaires, le contrôle du positionnement des aliments, la direction de la force de morsure et l'amplitude de ces forces sont entravés. La précision est donc moindre lors de l'exécution des tâches et on retrouve une durée plus courte des mouvements de la mâchoire par rapport aux patients présentant une dentition naturelle. (Cf. Figure 8) (29) (30)

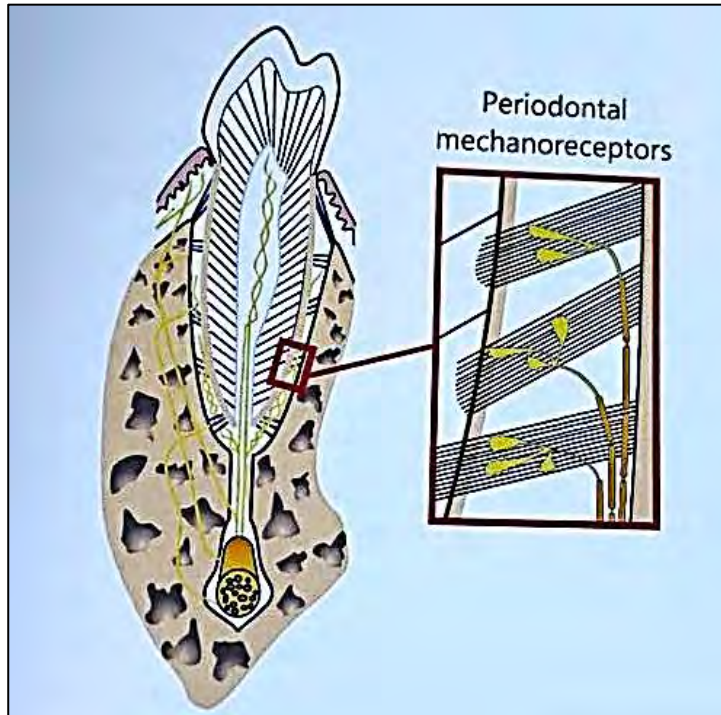


Figure 8 : Mécanorécepteurs parodontaux, Source : Trulsson 2006

iii. La proprioception et le système trigéminal

La proprioception nous permet d'avoir une représentation mentale de notre corps. C'est la perception consciente ou non de la position des différentes parties de notre corps dans l'espace. Cette perception est permise grâce aux différents récepteurs somesthésiques.

Les mouvements masticatoires rythmiques sont générés par un réseau neuronal dans le tronc cérébral appelé le générateur patron central (CPG). Ce CPG est responsable de l'activation et de la régulation des muscles d'ouverture et de fermeture de la mâchoire selon un schéma de mastication unilatérale lorsqu'il y a une intention de mouvement afin de réinformer par la suite les organes périphériques pour adapter la posture ou bien l'amplitude et la vitesse des mouvements mandibulaires par exemple. Il est en lui-même incapable d'ajuster la force musculaire pour faire aux propriétés changeantes de l'aliment au cours de la mastication. (32)

C'est pourquoi, la vue de l'aliment et son odeur avant son introduction en bouche sont une première information. Lors de la mastication, ces informations vont s'affiner grâce à différents types de rétrocontrôles :

- Au niveau des muscles et des articulations, avec des informations sur les mouvements de la langue et de la mandibule.
- Au niveau des récepteurs desmodontaux avec des informations sur les forces occlusales lors de la mastication.

- Au niveau de la langue, des joues, du palais et du nez, avec les récepteurs du goût et de l'odorat.

Ces informations permettent un rétrocontrôle au niveau des motoneurones des muscles mandibulaires et linguaux ainsi que sur le générateur central.

Ainsi, les informations sensorielles fournies par les récepteurs périphériques tels que les récepteurs parodontaux ou encore d'autres mécanorécepteurs au niveau de l'ATM, des muqueuses, de la langue, sont utilisées par rétrocontrôle ou feedback pour réguler les forces masticatrices. Les signaux des récepteurs desmodontaux vont aussi permettent d'anticiper le programme moteur le plus approprié en fonction des caractéristiques de l'aliment mastiqué. (Cf. Figure 9) (29) (30) (31)

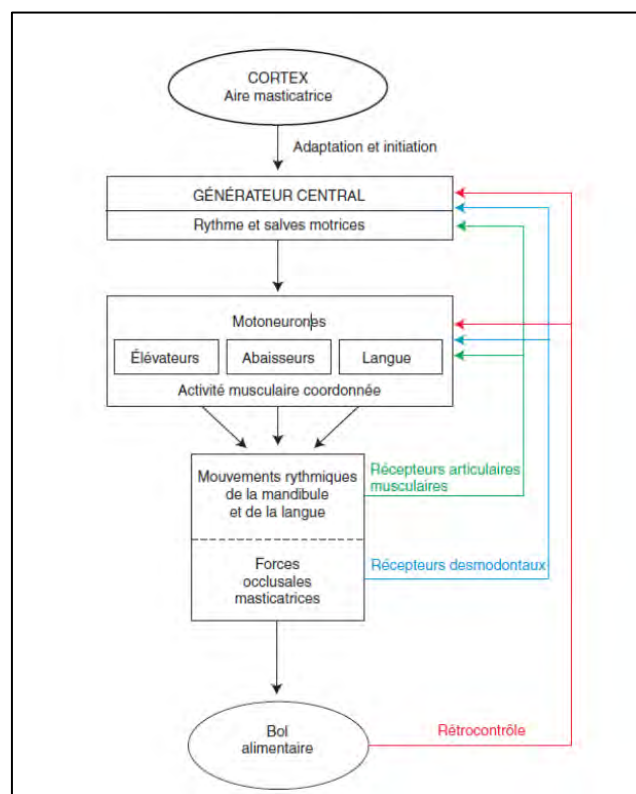


Figure 9 : schéma de l'organisation du système trigéminal, Source : Boileau et al., 2006

Il existe également un rétrocontrôle selon la flaveur des aliments.

La flaveur correspond à l'ensemble des sensations générées par l'aliment mis en bouche : les perceptions gustatives, olfactives et trigéminales (Escalon, 2013). Certains éléments influencent les perceptions sensibles notamment la salive qui joue un rôle important dans la libération des arômes et des saveurs. Les protéines salivaires interagissent avec les molécules gustatives et olfactives. Ainsi, une diminution de la quantité de salive va induire une moindre perception des flaveurs.

Il existe également un lien entre les sensations gustatives et la qualité des perceptions desmodontales. Au-delà de sept dents dévitalisées, les sujets ont une sensibilité gustative diminuée (Etien, 2010). Ainsi, tous ces mécanismes, couplés

à l'analyse de la texture par les récepteurs musculaires et desmodontaux, vont permettre de reconnaître l'aliment en bouche et d'adapter ainsi le cycle masticatoire en fonction des expériences précédentes sur cet aliment. (33)

II. Les troubles de la mastication

A. Causes

Les causes des désordres masticatoires sont de plusieurs types. On distingue 4 catégories principales : des désordres masticatoires liés à la vieillesse, à des pertes dentaires, liés à des dysfonctionnements de l'articulation temporo-mandibulaire associés ou non à des désordres musculaires et liées à des troubles neuroaux.

a. Vieillesse

Le vieillissement est un processus physiologique qui se caractérise par une perte d'autonomie et une dépendance du patient.

Naturellement avec l'âge les patients présentent une atrophie osseuse et musculaire entraînant des désordres masticatoires et des pertes dentaires. Par ailleurs, leurs capacités motrices diminuent progressivement ce qui rend plus compliqué le bon entretien de l'hygiène buccodentaire. (34)

i. Modifications musculaires et motrices

Le vieillissement est responsable d'une sarcopénie à savoir d'une fonte musculaire au niveau de la langue et des muscles masticateurs mais également d'une diminution des forces occlusales et de morsure. Il y a une augmentation du nombre de cycles masticatoires avant la déglutition (Pyeron et al., 2004). Le patient a donc besoin de plus de temps pour manipuler les aliments pendant la mastication, cela lui demande donc plus d'énergie qu'un patient plus jeune. Ainsi, la contraction musculaire cumulée au cours de la séquence masticatrice augmente également. (35) (36) (37)

ii. Modifications salivaires

Les glandes salivaires s'atrophient avec l'âge On a une diminution de la sécrétion salivaire. De plus, cette hyposialie peut être aggravée par certains traitements. En effet, la diminution de la production salivaire est un effet secondaire qui se retrouve dans 80% des médicaments les plus prescrits en gériatrie. La diminution de la salivation peut gêner la déglutition et la gustation. Elle peut aussi entraîner des inflammations des muqueuses buccales. (35) (38)

iii. Modifications gustatives

Avec le vieillissement, on note plusieurs modifications neuro-anatomiques qui entraînent une altération du goût et de l'olfaction. Il y a une diminution du nombre de bourgeons olfactifs et des papilles. Les pertes sont plus importantes pour les substances acides, salées et amères que pour les substances sucrées. Que la saveur sucrée soit la mieux préservée explique l'appétence des personnes âgées pour celle-ci.

Le patient âgé présente également une perte d'odorat. On retrouve une baisse, voire une perte, de l'odorat, hyposmie ou anosmie, chez 75% des sujets de plus de 80 ans. Ces diminutions peuvent induire une perte du plaisir de manger et

donc une possible diminution de la consommation alimentaire ce qui peut expliquer une forte dénutrition et un amaigrissement chez de nombreux patients âgés. Il faut noter que cette perte est aggravée par de multiples facteurs, comme la prise de certains médicaments, la diminution de la salivation ou une mauvaise hygiène bucco-dentaire. (34) (38) (39)

iv. Modification neurologique

Le système neurologique vieillit avec le sujet. Les influx nerveux sont ralentis. L'élaboration des programmes moteurs et la coordination motrice sont altérées. On observe ainsi un ralentissement général et des difficultés de coordination qui impactent aussi la mastication. (40) (41) (42)

v. Modifications dentaires

Les tissus constituant la dent vieillissent également. On observe notamment une usure ou des fêlures de l'émail exposant la dentine sous-jacente mais aussi l'apparition de récessions gingivales qui exposent les racines dentaires. Le risque carieux en est donc augmenté. La prévalence de caries augmente ainsi de 18 à 51 % chez les sujets âgés (Bailey et al., 2004). La fragilité des dents se traduit aussi par une perte totale ou partielle de la denture. Or, l'état de la dentition influence fortement la mastication. En effet, l'efficacité est corrélée au nombre de contacts dentaires. Il faut savoir que chez les personnes de plus de 65 ans, le nombre de dents restantes moyen varie entre 12 et 17 (Krall et al., 1998). Seulement 10% des sujets de plus de 75 ans ont 21 dents naturelles ou plus. (19) (43) (44)

b. Dentaire

Les dents ont une importance capitale dans le processus de mastication. L'état dentaire d'un patient va donc conditionner ses performances masticatoires. C'est pourquoi, les patients présentant des états carieux importants ou qui ont subi de nombreuses pertes dentaires non remplacées sont plus sujets à présenter un déficit masticatoire. (45)

Dans notre cas, la cause qui nous intéresse le plus est liée à celle de la perte dentaire.

Ces pertes dentaires peuvent avoir des origines multiples :

i. Perte de dents et parodontite

Le parodonte constitue le tissu de soutien des dents. Il se compose de l'os alvéolaire, du cément et du desmodonte. Certains patients présentent ce qu'on l'on appelle des parodontites. C'est une inflammation du parodonte dentaire qui se caractérise par une fonte osseuse et donc une perte des tissus de soutien de la dent. En France, selon l'enquête ICSII réalisée par l'ADF sous l'égide de l'OMS, plus de 80 % des adultes entre 35 et 44 ans souffrent de maladies parodontales. (46)

Les causes des parodontites sont complexes et multifactorielles. Elles ont à la fois une composante génétique, liée à l'apparition de parodontopathogènes, des bactéries agressives venant attaquer les tissus de soutien de la dent et créant un déséquilibre bactérien. Ceci est très souvent lié à un affaiblissement du système immunitaire pouvant être causé par une pathologie systémique (de type VIH, diabète ...). Il y a également une composante épigénétique, à savoir une influence de l'environnement et des habitudes de vie du patient. Cela se caractérise par la consommation de tabac ou de médicaments par exemple. (46) (47)

Les parodontites peuvent être également les conséquences de mauvaises habitudes hygiéno-diététiques des patients responsables d'un mauvais état bucco-dentaire ce qui induit une plaque dentaire importante, des mobilités et un indice inflammatoire important. (Cf. Figure 10). (48)

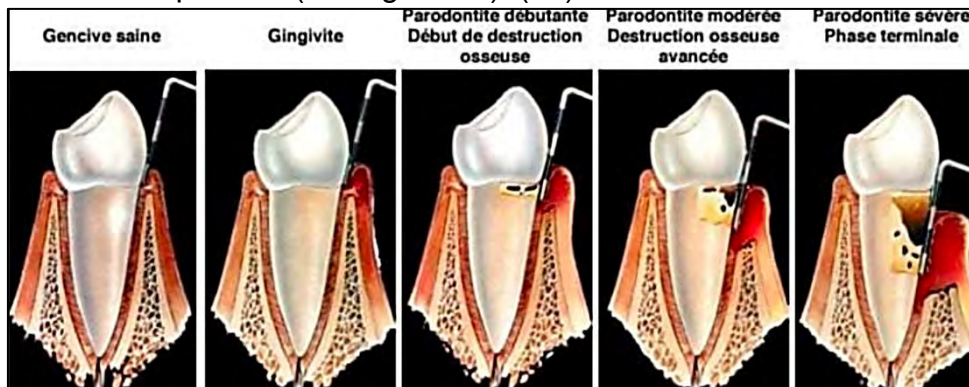


Figure 10 : Evolution de la maladie parodontale. Source : Centre Dentaire du Vieux Sherbrooke

D'autre part, les dents permettent le contrôle de l'activité musculaire pendant la mastication grâce à la présence des récepteurs desmodontaux. On rappelle que le rôle principal de l'ensemble des mécanorécepteurs oro-faciaux est de signaler la position du bol alimentaire et la texture des aliments lors de la mastication. Comme la disparition des dents entraîne la dégénérescence de certains protoneurones associés à des mécanorécepteurs gingivaux et parodontaux, il y a, après avulsion, non seulement une diminution voire une disparition des surfaces de broyage, mais également une perte d'informations sensorielles mises en jeu lors de la mastication. (29) (30) (49).

ii. Etat bucco-dentaire

Un mauvais état bucco-dentaire lié à de nombreuses caries mais également à des inflammations gingivales du fait de mauvaises pratiques hygiéno-diététiques, peut également engendrer de nombreuses avulsions dentaires. (43)

Les patients présentant beaucoup de caries ou d'avulsions sont donc plus susceptibles de présenter des déficits masticatoires.

Ainsi, lorsqu'il y a des dents absentes, en malposition ou dont la surface occlusale est altérée, les surfaces masticatrices diminuent et les mécanismes de contrôle proprioceptifs sont altérés. C'est pourquoi toute altération de l'état dentaire qui concerne la structure, le nombre ou encore la position des dents est susceptible

d'impacter et de perturber les processus masticatoires et donc les processus de nutrition. (50) (51)

iii. Malocclusions

Au-delà des pertes dentaires, les patients qui présentent des malocclusions se retrouvent avoir des cycles masticatoires irréguliers. En exemple, les sujets en classe III présentent des variations significatives de l'amplitude et du rythme des cycles masticatoires. Dans le sens vertical, la supracclusion incisive entraîne une verticalisation des cycles, il n'y a presque plus de mouvements latéraux. De plus, du fait des risques de blocages occlusaux, la mastication est souvent bilatérale ou unilatérale dominante. Au niveau latéral, les personnes ayant une occlusion inversée latérale ont des cycles masticatoires inversés. (52)

La douleur dentaire peut également gêner la mastication. Elle peut ainsi limiter les mouvements masticatoires ou impliquer une mastication unilatérale du côté sans douleur (Planas, 2006). Comme nous l'avons dit plus haut, l'efficacité est corrélée au nombre de contacts dentaires. Si les contacts dentaires sont mal repartis, l'efficacité masticatoire est diminuée. (50) (53)

c. Les désordres temporo-mandibulaires (DTM)

Les désordres masticatoires peuvent également être liés à des dysfonctionnements au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM) ou/et des muscles masticateurs. Il y a donc des désordres de l'ordre articulaire et des désordres de l'ordre musculaire.

Les DTM se caractérisent par des douleurs, du bruit articulaire lors des mouvements mandibulaires et des dyskinésies (trouble d'ouverture et fermeture, ouverture en baïonnette, limitation de mouvements ...). (54) (55)

Les DTM sont liés essentiellement à des problèmes d'occlusion mais ce sont des pathologies poly étiologiques, à savoir qu'ils peuvent également être liés à certaines pathologies générales (comme la fibromyalgie, le syndrome du côlon irritable ...) et/ou à certaines para-fonctions (bruxisme, trouble du sommeil, reflux gastro-oesophagien, trouble de la posture, stress ...) (54) (55)

i. Désordres articulaires

Les désordres articulaires sont majoritairement liés à des désunions condylo-discale de grade 1, 2 ou 3 qui se caractérisent par le degré de coaptation du disque au niveau de l'ATM.

Ces dysfonctionnements au niveau de l'ATM entraînent des perturbations au niveau des cycles masticatoires. Le cycle est plus long et d'amplitude réduite. A l'ouverture, on note un ralentissement mais aussi une verticalisation avec une diminution du mouvement latéral. A la fermeture, on note de petites réouvertures et, bien souvent, un retour en fermeture qui ne se situe pas au point d'intercuspidation maximale. (16) (18) (55)

Ces désordres articulaires peuvent également être liés à des synovites, capsulites, arthrite, des fractures ... (cf. Figure 11).

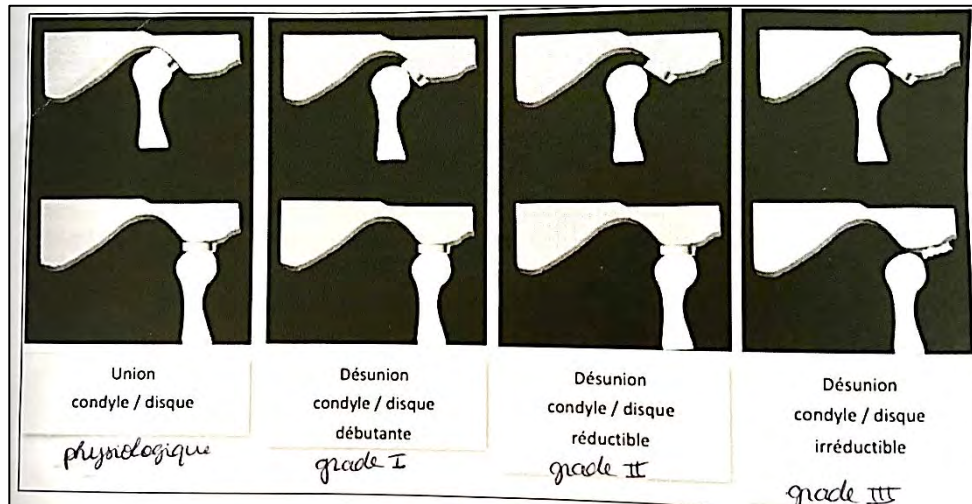


Figure 11 : Désordres articulaires : désunions condylo-discale. Source : cours d'occlusodontie, 4^{ème} année dentaire, Toulouse

ii. Désordres musculaires

Les désordres musculaires peuvent être de trois types :

Ils peuvent être liés à une faiblesse musculaire qui peut être unilatérale ou bilatérale. Les causes d'une atteinte unilatérale peuvent être une lésion de la branche motrice du nerf V ou une hémiplégie. Pour les faiblesses bilatérales, il peut s'agir d'une lésion bilatérale du nerf V, d'une tumeur de la base du crâne ou d'une myopathie. Dans le cas d'une atteinte unilatérale, elle ne posera pas de problèmes fonctionnels. Cependant, si le muscle ptérygoïdien latéral est touché, cette atteinte va induire une déviation de la mâchoire du côté touché et, à terme, une modification morphologique de l'ATM. Au contraire, une atteinte bilatérale va rendre la mastication difficile voire impossible. La bouche peut même rester constamment béante. (37) (55)

Ces désordres peuvent également se présenter sous la forme de spasmes permanents. Le spasme est une contraction musculaire brusque et involontaire. Il touche le plus souvent les muscles élévateurs : la fermeture est forcée, l'ouverture est impossible. Les muscles abaisseurs peuvent aussi être concernés : l'ouverture est alors accompagnée d'une déviation importante. Les causes sont souvent infectieuses ou tumorales. (55)

Enfin on peut avoir des mouvements masticateurs spontanés ou désordonnés. Ces mouvements viennent parasiter la mastication. On les rencontre dans certains cas d'intoxication médicamenteuse ou dans des maladies mentales. Les muscles masticateurs peuvent également être la cause de myalgies, de myosites ou de contractures entraînant des déficiences masticatoires. (55)

d. Pathologies neurologiques

De nombreux troubles neurologiques, innés ou acquis ont des conséquences sur les fonctions orales notamment sur la mastication-déglutition. Si en plus ces patients présentent des troubles cognitifs ou comportementaux, l'accès à l'hygiène bucco-dentaire et aux soins peut être compromis.

Certains troubles neurologiques tels que les accidents vasculaires cérébraux (AVC) ou encore la maladie de Parkinson, peuvent avoir un impact sur l'activité masticatoire. (56)

En effet, le cerveau ne répond plus correctement aux signaux envoyés par les différentes structures masticatoires et cela va se traduire par une mauvaise coordination des fonctions oro-motrices causant des dysfonctionnements de la phase de mastication et de déglutition orale. Ces troubles neuronaux entraînent notamment des hypokinésies responsables d'une altération des mouvements de la langue conduisant à une mauvaise formation du bolus et un retard du transfert du bolus vers le pharynx.

On retrouve également d'autres syndromes neurologiques comme le syndrome de Foix-Chavany-Marie, ou le syndrome Worster-Drought qui se caractérisent par une paralysie facio-linguo-masticatrice centrale bilatérale, ou encore le syndrome de Moebius qui correspond à la paralysie des muscles des yeux et du visage, avec une déformation de la langue et de la mâchoire. (56)

Les troubles des fonctions orales sont également associés à certaines anomalies génétiques.

Ainsi, la trisomie 21 ou syndrome de Down induit un syndrome oro-facial responsable d'une hypotonie des muscles faciaux et de la langue, d'agénésies dentaires, et une prévalence augmentée pour la maladie parodontale qui, en l'absence de pratiques d'hygiène adaptées, se traduit par la perte prématurée des dents. (56)

On retrouve également le syndrome de Pierre Robin, qui associe une rétro-mandibulie, une fente palatine et le refoulement de la langue en arrière. Ceci est un contexte favorable aux troubles de la mastication. (56)

Chez les patients en situation de handicap sévère, les troubles de la mastication constituent une part importante des troubles de l'ingestion. Ils sont associés à des troubles neuro-moteurs et sont aggravés par un état bucco-dentaire déficient. De plus, la présence de troubles cognitifs peut mettre en jeu la rééducation basée sur la motricité volontaire, et la présence de troubles psychiques peut perturber le comportement alimentaire. (56).

B. Conséquences

a. Troubles du système digestif

Rappelons que la mastication a un rôle primordial dans la digestion. C'est même la première étape de la digestion et elle conditionne le bon déroulement des étapes suivantes.

i. Rôle de la mastication dans la déglutition

Le premier rôle de la mastication est donc de transformer les aliments en un bolus alimentaire qui sera par la suite dégluti. Les mouvements réalisés lors de la mastication rendent le bol alimentaire homogène, plastique, cohésif et glissant. La formation de ce bolus est aussi permise grâce à la salive. Celle-ci permet la formation d'un bolus avec la bonne consistance et évite ainsi le risque de fausses routes comme le souligne la revue de littérature de l'I.D.D.S.I. (International Dysphagia Diet Standardization Initiative) (Steele et al., 2015). En effet, avec l'âge, le temps labio-buccal augmente et on note un ralentissement de l'ascension du larynx. Ceci majore le risque de fausses routes pouvant donner lieu à des pneumopathies d'où l'importance de la réduction de la dimension des aliments afin d'éviter toute obstruction des voies aériennes en cas de fausses routes. (59) (60) (65)

Enfin, la mastication permet de mieux percevoir les propriétés physico-chimiques de l'aliment. Ces propriétés vont également stimuler le réflexe de déglutition.

Au niveau physique, la perception de la texture, du volume et d'autres paramètres va faciliter la déglutition. (39)

Au niveau chimique, la perception des saveurs et des odeurs libérées lors de la mastication facilite également le mécanisme de déglutition. (39)

ii. Rôle de la mastication dans la digestion

La mastication facilite la digestion à différents niveaux. Comme expliqué plus haut, la mastication permet de réduire la taille des particules du bol alimentaire en le broyant. De ce fait, une fois arrivé dans l'estomac, la surface des aliments en contact avec les sucs gastriques est plus importante. L'action de ces derniers est donc plus rapide et la décomposition plus aisée. Une mauvaise mastication impacte donc la digestion qui devient plus difficile et plus longue.

De plus, la mastication déclenche une augmentation de la salivation afin d'insaliver le bol alimentaire. La salive contient une enzyme digestive, l'alpha-amylase, qui va amorcer la digestion des glucides. (62)

Enfin, selon Mattes (1997) et Zafra (2006), la sécrétion des sucs gastriques dépend essentiellement d'influx nerveux provenant l'encéphale. Or, la phase céphalique débute dès l'introduction des aliments en bouche. La mastication, couplée aux différentes stimulations sensorielles, gustatives et olfactives permet d'anticiper et d'optimiser l'assimilation des aliments ingérés.

iii. Rôle de la mastication dans la nutrition

Avec l'âge, le sujet a plus de risques de présenter de nombreuses malnutritions et carences. En effet, l'ingestion de fragments de plus grosse taille rend leur digestion plus longue et plus difficile et on observe une moins bonne assimilation des nutriments. (19) (66)

Les troubles de la mastication impliquent également une modification du type d'alimentation. Les quantités ingérées et le choix des aliments évoluent. Les personnes présentant des déficiences masticatoires vont avoir plus tendance à adopter des comportements alimentaires restrictifs en sélectionnant les aliments qu'ils consomment en supprimant les aliments crus, fibreux ou durs comme les fruits et les légumes crus mais aussi la viande. A la place, ils vont se tourner vers des aliments cuits voir très mous. Or, selon un article du Vidal, la cuisson trop importante détruit des composants alimentaires essentiels tels que les fibres, les protéines, les vitamines et les sels. Par conséquent, la carence en nutriments chez les patients âgés est donc proportionnelle aux difficultés masticatoires des patients et à la détérioration de l'état oral (Morais et al., 2003). A l'inverse, le taux de certains nutriments dans le sang d'un sujet augmente après qu'il ait renouvelé ses prothèses dentaires et, ainsi, amélioré sa mastication (Marcenes et al., 2003). (61) (62) (63)

iv. Mastication et santé bucco-dentaire

La mastication conditionne le flux salivaire. Or la salive a un impact considérable au niveau de la santé bucco-dentaire. (38)

En effet, elle présente des propriétés antibactériennes. Elle assure ainsi un nettoyage naturel des surfaces exposées à la contamination bactérienne. Elle régule par ailleurs le pH buccal et évite ainsi de rester dans un environnement trop acide, sujet au développement carieux. L'augmentation du flux salivaire s'accompagne également d'une hausse de la concentration en calcium et phosphate. Tout ceci protège l'émail dentaire, limite le risque de caries et le développement de maladies parodontales. (38) (63)

Enfin, la mastication a des répercussions positives sur la santé du parodonte. Elle stimule les tissus parodontaux et limite les récessions gingivales. Une alimentation dure favorisera la bonne santé des tissus parodontaux et la croissance de l'os alvéolaire selon O'Rourke (1947 (Nizel, 1980), là où une consistance molle favorisera une atrophie osseuse. (43)

b. Troubles psychologiques

Au-delà du besoin vital que nécessite l'alimentation, manger est avant tout un plaisir. Ce plaisir se caractérise par le choix des aliments mais aussi par un moment de convivialité où l'on échange avec d'autres personnes au cours d'un repas. Ce plaisir doit être entretenu quelles que soient les aptitudes de la personne. Ainsi, même chez la personne âgée, il est primordial de diversifier les saveurs et les textures afin de solliciter un maximum les éléments buccaux pour avoir une mastication efficace et pour stimuler les connexions nerveuses. (64)

La mastication conditionne la qualité de vie. En effet, des troubles de la mastication peuvent constituer un handicap social. Le sujet en difficulté va avoir

tendance à s'interdire certains repas en société pour ne pas exposer ses difficultés en public.

La thèse de médecine dentaire de Michaud (2011) confirme le lien entre les difficultés masticatoires et la qualité de vie d'un patient. Il utilise pour cela l'échelle O.H.I.P. (Oral Health Impact Profile) qui évalue l'impact de la santé buccale sur la qualité de vie. Son étude démontre que l'amélioration de la condition buccale et des capacités masticatoires suite à un traitement prothétique adapté chez des sujets édentés permet d'expliquer 46,4 % de l'amélioration dans le score O.H.I.P. d'un sujet. (42) (57)

c. Troubles neurologiques

La mastication doit être vue comme forme d'activité physique. Or, il a été démontré qu'une activité physique d'intensité modérée, pratiquée à tout âge, permet de prévenir les troubles cognitifs et la démence ou, le cas échéant, de ralentir leur évolution (Denkinger et al., 2012).

Des études se sont donc aussi intéressées à l'effet de la mastication sur la cognition. On note qu'une modification de l'activité masticatoire et/ou du type d'alimentation proposé a un impact sur les résultats neurobiologiques et cognitifs d'un sujet âgé. En effet, le maintien d'une mastication efficace a un impact positif. A l'inverse, sa dégradation a, elle, un impact négatif. De façon générale, avoir perdu 50% ou plus de sa dentition naturelle, augmente les risques de développer des maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer ou encore de Parkinson (Gatz et al., 2006). (26) De même une période de plus de 15 ans avec un nombre de dents restreint impacte négativement les capacités cognitives globales d'un sujet âgé (Okamoto et al., 2010). A l'inverse, les sujets qui bénéficient de soins dentaires voient leurs capacités cognitives se détériorer plus lentement que celles des sujets non soignés (Wu et al., 2008).

Par ailleurs, la mastication entraîne l'activation de nombreuses zones cérébrales tels que l'hippocampe (qui a un rôle dans la mémorisation) et le cortex préfrontal (qui joue un rôle dans les fonctions exécutives). Or, l'étude de Sasaguri (2004) montre que, lors d'une tâche de mémorisation, l'activation de ces zones, ainsi que les performances des sujets, sont plus importantes lorsque ces derniers mâchent un chewing-gum. Leur concentration est également meilleure. En ce qui concerne le cortex préfrontal, il a été démontré qu'une atteinte de la mastication impacte négativement les capacités exécutives de celui-ci. (Scherder et al., 2008) (26) (40) (41) (58)

Ainsi toute diminution du potentiel masticatoire a un impact nutritif et digestif sur les patients (pathologies gastriques, troubles du transit, dénutrition-obésité) du fait d'une insalivation insuffisante, de contacts trop légers entre les aliments et les enzymes salivaires, d'une mauvaise constitution du bol alimentaire ..., un impact psychologique : en effet le repas est un moment convivial qui permet de conserver un lien social mais il est entravé par un état buccodentaire défectueux, et un impact neurologique car certaines zones neuronales ne sont plus stimulées correctement.

C. Répondre à l'édentement : réhabilitation prothétique

Physiologiquement, après tout édentement s'en suit une résorption osseuse. Il est donc important de réhabiliter les patients correctement afin de maintenir une densité osseuse suffisante afin de conserver une activité musculaire efficace pour la mastication. La réhabilitation prothétique passe souvent par des prothèses amovibles ou bien des implants dentaires. (67)

a. Prothèses amovibles

Une prothèse amovible est un dispositif permettant de remplacer des dents absentes. Ces prothèses ne sont pas fixées dans l'os mais s'appuient sur les structures ostéo-muqueuses de la mâchoire. Elles peuvent être partielles, à savoir qu'elles ne remplacent que quelques dents absentes et s'appuient sur les tissus muqueux et dentaires, ou complètes. Dans cette situation, le patient est totalement édenté.

Les trois grandes règles à respecter lors de la réalisation de prothèses amovibles sont la rétention, qui correspond à la connexion entre la surface d'appui et l'intrados prothétique grâce au joint salivaire, la stabilisation, qui s'oppose aux forces transversales et qui dépend du relief des crêtes, des tubérosités, et de l'occlusion, et la sustentation, qui correspond à l'ensemble des forces qui s'opposent à l'enfoncement de la prothèse. Ces trois règles constituent la triade d'Housset et établissent l'équilibre tissulaire et prothétique.

Les prothèses amovibles partielles peuvent être transitoires (elles sont alors en résine) et sont posées souvent dans l'attente d'une prothèse amovible d'usage à châssis métallique (PPAC). Ces dernières sont composées d'un châssis métallique, de crochets qui s'appuient sur des taquets dentaires, de selles sur lesquelles sont disposées les dents en résine et de connections qui permettent de relier le tout. (Cf. Figure 12) (68)

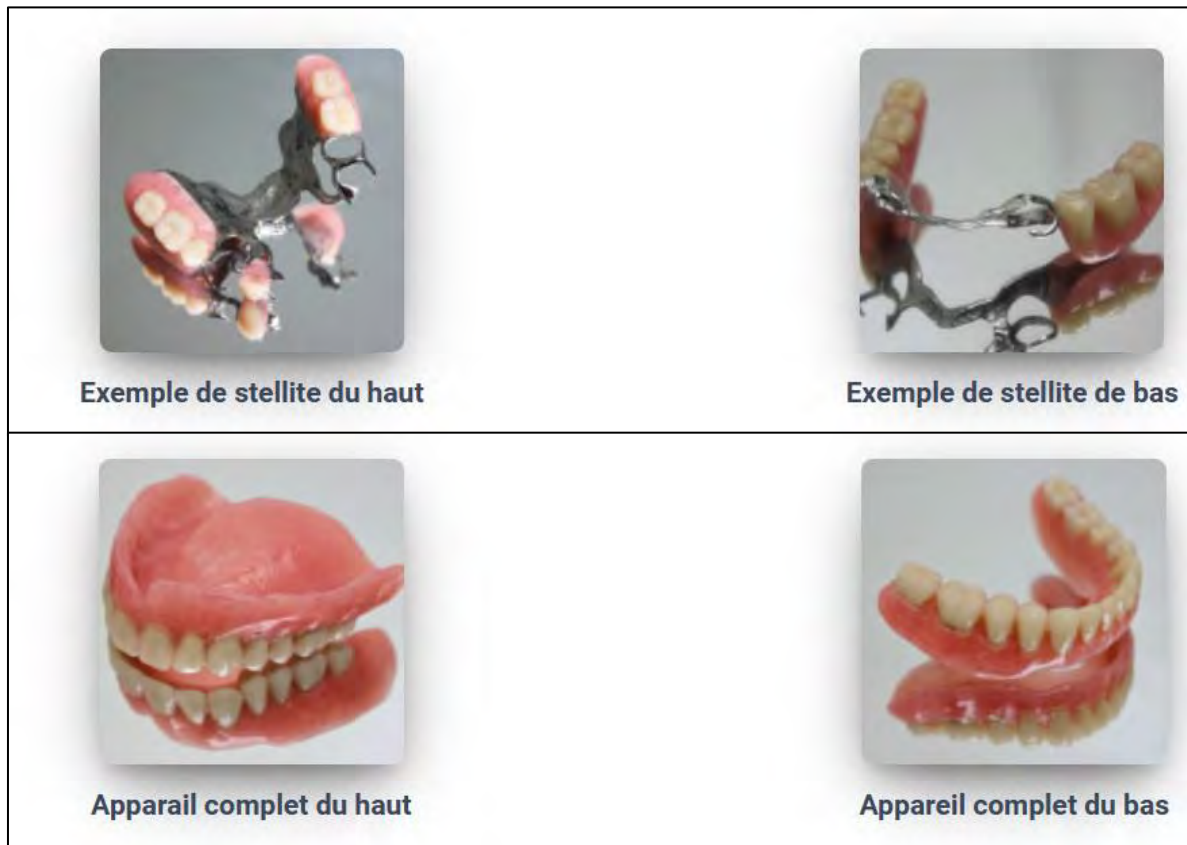


Figure 12A et B : structure des prothèse amovibles partielles et complètes. *Source : Les différents types de prothèses dentaires. (2015, junio 21).*

Les prothèses amovibles complètes remplacent toute une arcade car toutes les dents sont absentes. Elles sont en résine et ont des règles de montage équilibrant différentes des autres prothèses, à savoir qu'en statique, il doit y avoir des contacts sur les secteurs cuspidés mais pas au niveau antérieur. En propulsion, il doit y avoir des contacts antérieurs et postérieurs et en latéralité, il doit y avoir des contacts des deux côtés (droit et gauche). Or, en denture naturelle, il n'y a pas de contact postérieur lors de la propulsion. Ces règles de montage doivent être parfaitement respectées afin d'éviter la désinsertion de la prothèse. Sans ces contacts équilibrants il y a un risque de résorption osseuse et l'apparition iatrogène de crêtes flottantes ainsi qu'un risque de bascule de l'intrados prothétique. (68)

Cependant il demeure compliqué d'avoir une prothèse qui soit parfaitement adaptée au patient sur le long terme : d'une part, du fait du vieillissement des matériaux (modification des propriétés des alliages, perte de rétention des crochets, diminution de la résistance à la fatigue, fractures métalliques, modifications des propriétés de la résine...) et d'autre part, du fait de la résorption osseuse physiologique.

Par ailleurs, si la prothèse est mal ajustée, il peut y avoir par exemple des pathologies carieuses, des inflammations parodontales ...

Elles peuvent également être responsables de lésions des muqueuses sous prothétiques.

Notons également parfois l'apparition de stomatites sous prothétiques ou de candidoses chez les patients porteurs de prothèse. Cela est lié d'une part à une certaine négligence du patient mais aussi à une prothèse instable et défectueuse qui engendre une réaction aiguë de la plaque microbienne prothétique. (68)

Elles ont également un impact sur l'efficacité masticatoire et la nutrition du patient : il faut un temps d'adaptation qui est plus ou moins long selon les patients. Il faut accompagner le patient et le laisser prendre le temps de s'y habituer. (68)

Enfin les prothèses amovibles présentent également un fort impact psychologique chez les patients. Certains d'entre eux sont dans ce que l'on appelle le refus psychologique. Il est très difficile de faire admettre le port d'une prothèse amovible d'autant plus qu'il ne faut pas négliger l'esthétisme de celle-ci. (68)

b. Implants dentaires

Les implants sont des racines artificielles en titane posées au cours d'une chirurgie pour compenser des édentements unitaires ou multiples. Dans certaines situations, des implants sont également posés dans le cadre d'un édentement complet notamment à la mandibule où l'on retrouve souvent deux attachements sur implants permettant de stabiliser une prothèse complète. Les implants sont biocompatibles et s'intègrent grâce au processus d'ostéo intégration. (69)

L'ostéo intégration correspond à une intégration de l'implant de l'os notamment grâce à l'interface implant/os où un remaniement osseux s'effectue jusqu'à obtenir la formation d'os corticalisé lorsque celui-ci est soumis aux contraintes occlusales au bout d'environ 6 mois après la pose implantaire. (69)

La stabilité d'un implant repose donc sur un double équilibre : (69)

- Biomécanique : en cas de problème biomécanique, on a des contraintes latérales au niveau de l'os ce qui entraînent une résorption de celui-ci et la formation d'une poche péri-implantaire qui va être colonisée par des bactéries.
- Biologique : en cas de problème biologique, on a la présence de bactéries pathogènes responsables d'une résorption osseuse.

Cet équilibre dépend des forces occlusales notamment de l'axe de ces forces, de leurs intensités et du temps d'application. Par exemple, une contrainte latérale ouvre les joints de l'implant, des bactéries vont donc passer et coloniser l'implant. Lorsque la contrainte se termine, le joint reprend sa position initiale et emprisonne les bactéries qui se multiplient alors et créent une péri-implantite et donc une perte de l'ostéo intégration de l'implant et en conséquence, une perte de celui-ci. (69)

A noter qu'il est également indispensable de prendre en considération les contacts occlusaux lors de toute pose implantaire notamment pour la régulation neuro-centrale. En effet, il n'y a pas de desmodonte sur l'implant comparativement à une dent naturelle et il n'y a donc pas de récepteurs proprioceptifs. Par exemple, en denture naturelle, en présence d'une surcharge occlusale, on a une activité inhibitrice des muscles élévateurs et une activation des muscles abaisseurs. Cette information est envoyée grâce aux récepteurs desmodontaux. Avec les implants, il n'y a plus de protection neurologique car il n'y a plus de desmodonte. (69)

Par ailleurs, un implant a beaucoup moins de mobilité axiale (enfoncement d'une dent naturelle) et il en est de même pour sa mobilité latérale. Les contraintes peuvent ainsi avoir des répercussions plus importantes qu'en denture naturelle : l'adaptabilité est moindre, la transmission des contraintes à l'os est plus directe et cela peut compromettre l'ostéo intégration des implants en cours d'ostéo intégration. (69)

Même si cette solution de remplacement semble être la solution thérapeutique la plus adaptée, les implants sont également sujets à de nombreux échecs thérapeutiques. L'étude de Koldsladn de 2010 montre que 25% des patients présentent une péri-implantite à 7 ans environ après la pose. (69)

Il existe également des contre-indications à la pose implantaire. Et ces contre-indications augmentent avec l'âge du patient. En effet, comme évoqué plus haut, avec l'âge le patient présente une résorption osseuse qui compromet la pose d'implants car la chirurgie implantaire nécessite un niveau osseux suffisant.

De plus, avec l'âge la prévalence des maladies parodontales augmente, or les parodontites sont des contre-indications absolues à une pose implantaire. Toute parodontite doit être stabilisée avant d'envisager un implant.

Par ailleurs, certaines pathologies comme les cardiopathies à haut risque d'endocardite infectieuse, les troubles du rythme sévère, l'hypertension artérielle non contrôlée, le diabète, l'ostéoporose etc. sont des contre-indications aux implants, or le risque de développer ces problèmes de santé augmente avec l'âge du patient.

Les implants demandent également un bon entretien hygiéno-diététique ce qui devient compliqué pour les patients très âgés. (Cf. Figure 13) (69)



Figure 13 : implant dentaire. Source : VitalClinique

Ainsi, les prothèses dentaires, qu'elles soient fixes ou amovibles, nécessitent de respecter un certain cahier des charges et sont comme nous avons pu le souligner plus haut, non sans conséquences sur les performances masticatoires et la qualité de vie du patient.

III. Evaluation des performances masticatoires

Il est de nos jours, primordial d'évaluer les performances masticatoires après toute réhabilitation prothétique afin de répondre au mieux aux attentes fonctionnelles du patient et ainsi contribuer au maintien d'une bonne qualité de vie.

Notons que les performances masticatoires se définissent par la qualité du mastiquât obtenu après un nombre précis de cycles masticatoires. (70)

Pour mener cette évaluation, il existe plusieurs tests parmi lesquels on note des tests subjectifs et des tests objectifs.

A. Tests subjectifs

Les tests subjectifs s'articulent essentiellement autour de questionnaires médicaux d'auto-évaluation où l'on fait appel aux perceptions et aux ressentis du patient. (71)

Parmi ces tests on peut noter le G.O.H.A.I. (Geriatric Oral Health Assessment Index) qui par le biais d'un questionnaire d'auto-évaluation compare les problèmes fonctionnels oraux et leurs répercussions au niveau psycho social. (57)

B. Test objectifs

Les évaluations objectives peuvent être simples à savoir que l'on étudie un seul élément de la mastication : les dents ou bien les muscles masticateurs par exemple. Ou bien elles peuvent être dites composites à savoir que l'on étudie ensemble plusieurs organes impliqués dans la mastication. (72) (73)

a. Simples

i. Impliquant les dents

1. Les unités dentaires

Cette évaluation repose sur l'analyse d'unités dentaire fonctionnelles à savoir le nombre de dents présentant un contact avec leur antagoniste. Cette méthode se limite au comptage des unités fonctionnelles dentaires. (74) (75)

2. Le coefficient masticatoire

Le coefficient masticatoire est un pourcentage. On attribue à chaque dent un pourcentage allant de 1 à 5% en fonction du type, du rôle et de l'état de chaque dent. Une dent absente ou non fonctionnelle aura par exemple un coefficient de 0. A l'inverse, une dent restaurée ou porteuse d'une prothèse conserve son coefficient normal.

La somme de ces coefficients unitaires est de 100% quand les 32 dents sont présentes en bouche. On considère alors qu'un patient est édenté lorsque ce coefficient mastocatoire à une valeur inférieure à 30%. (74) (75)

La figure 14 représente les coefficients attribués à chaque type de dents :

Dent	Coefficient mastocatoire
Incisive centrale supérieure	2
Incisive centrale inférieure	1
Incisive latérale supérieure ou inférieure	1
Canine supérieure ou inférieure	4
Prémolaire	3
Molaire	5
Dent de sagesse supérieure	2
Dent de sagesse inférieure	3

Figure 14 : Coefficients mastocatoires des différents types de dents. *Source : Thèse Lucile CASTEX, repérage des troubles de la mastication, diplôme d'orthophonie.*

ii. Impliquant les muscles

1. La force de morsure

Pour étudier la force de morsure, on peut utiliser différents outils comme un dynamomètre, une jauge de contrainte ou même des capteurs montés sur des implants. La force de morsure ne prend en compte que les mouvements mandibulaires. Cependant, la force de morsure est corrélée à la capacité mastocatoire comme l'a montré Heath (1982). (29) (30) (55) (76)

2. L'électromyographie (EMG)

L'électromyographie peut être élémentaire à savoir qu'elle permet d'analyser la conduction du nerf : pour cela on utilise des aiguilles que l'on plante de chaque côté du nerf (souvent au niveau du canal carpien). Elle peut être aussi dite de surface à savoir que l'on enregistre essentiellement l'activité des muscles superficiels du système manducateur : le temporal, les masséters et les supra hyoïdiens. L'électromyographie de surface est le plus souvent utilisée car elle est considérée comme moins invasive. On utilise pour cela huit électrodes, quatre pour le côté droit et quatre pour le côté gauche. L'activité musculaire qui nous intéresse le plus est celle du masséter. Pour placer les électrodes du masséter, on demande au patient de serrer les dents afin de nous permettre de palper le muscle, on désinfecte la peau en regard à l'alcool puis on place les électrodes perpendiculairement au sens des fibres. On peut alors enregistrer l'activité tonique posturale des muscles c'est-à-dire leur activité au repos quand le patient est en

occlusion, mais on peut également faire une étude chronologique de la contraction musculaire et une étude de la force musculaire.

De façon générale, l'électromyographie de la mastication permet une analyse qualitative et quantitative de la mastication. Qualitativement, elle permet de déterminer quels sont les muscles contractés pour chaque étape d'un cycle masticatoire et quantitativement, elle permet de déterminer la durée et la force de chaque contraction. On obtient ainsi une analyse fiable de la fonction masticatrice. Cette méthode reste cependant onéreuse et difficile à mettre en œuvre. Elle demande aussi un savoir-faire spécifique. (Cf. Figure 15) (29) (30) (55) (76)

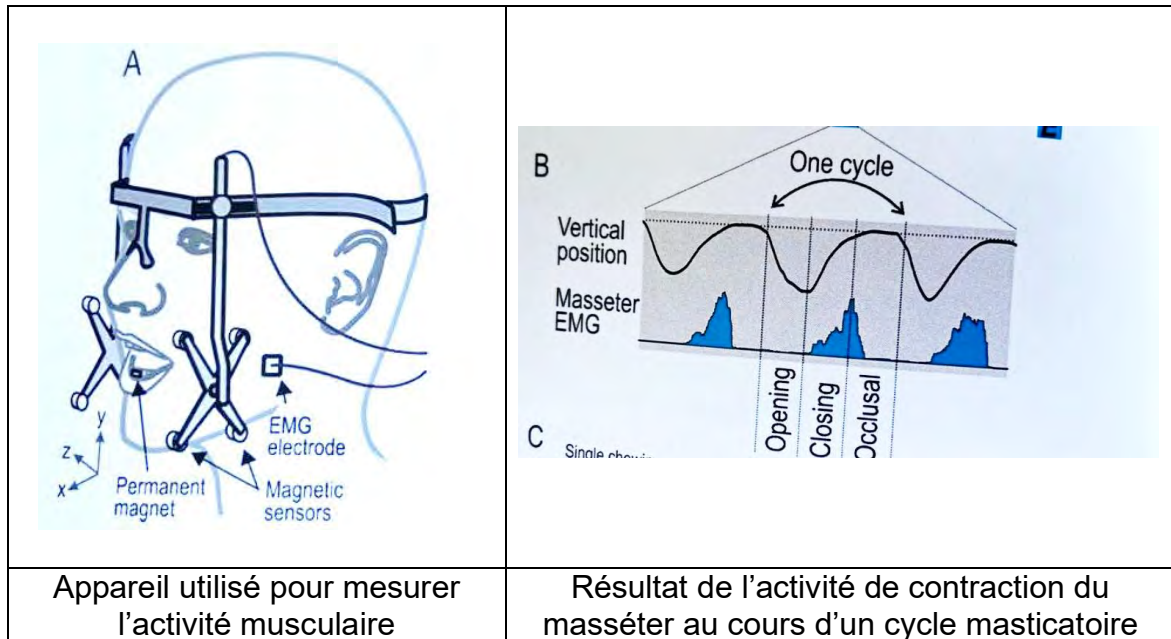


Figure 15 : Evaluation de l'activité musculaire. Source : *Spatial control of biting behavior : To bite and not to slip*, Joannis Grigoriadis, 2016

iii. Impliquant l'ATM

1. *Le tracking mandibulaire*

Le dispositif est composé de deux éléments : un appareil d'enregistrement électromyographique et de tracking mandibulaire, cet appareil s'appelle le K7. Il permet une évaluation des mouvements verticaux et latéraux de la mandibule dans les 3 dimensions.

4 capteurs sont disposés pour analyser le déplacement d'un aimant collé au niveau de la face linguale des incisives inférieures (10 x 5 x 10 mm). Cela va nous donner des informations sur le déplacement du dentalé dans les 3 plans de l'espace et donc sur la cinématique mandibulaire. On retrouve par exemple dans le plan sagittal et le plan frontal le diagramme de Farrar qui représente les mouvements d'ouverture fermeture puis de latéralité. A noter que plus les tracés d'ouverture et de fermeture sont proches, moins il y a de dysfonctions au niveau de l'articulation. Ce tracking permet également d'évaluer la vitesse ce qui correspond à la vitesse

d'exécution à l'ouverture et à la fermeture. Plus l'occlusion est instable, plus le patient sera obligé de ralentir sa vitesse pour éviter les contacts traumatisants.

Ainsi, il est important pour évaluer la fonction masticatoire de réaliser des examens tels que l'électromyographie permettant de mesurer l'activité musculaire mais aussi des examens comme le tracking mandibulaire permettant d'évaluer la cinématique mandibulaire. (cf Figure 16) (29) (30) (55) (77) (78)

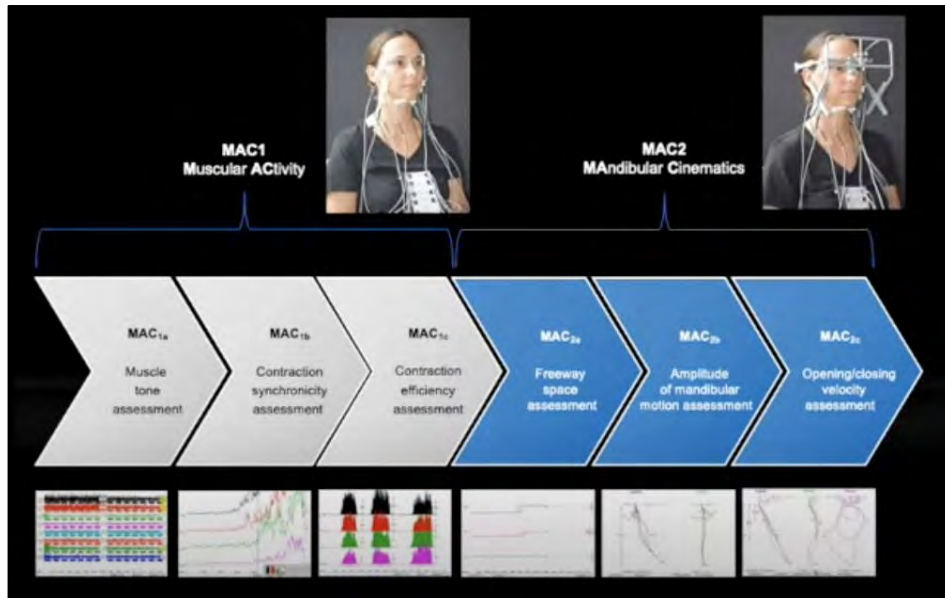


Figure 16 : Evaluation de l'activité musculaire et de la cinématique mandibulaire. *Source : cours d'occlusodontie, 4^{ème} année dentaire, Toulouse*

b.Composites

i. Granulométrie et tamisage

Au cours de ce test, le patient va mâcher un aliment particulier choisi par l'examineur pendant une durée ou un nombre de cycle masticatoire donné. Il lui demande ensuite de recracher le masticquât. On évalue alors la répartition granulométrique de celui-ci. On note la taille des fragments. Plus ils sont importants, moins la mastication sera jugée efficace. Pour évaluer la taille de ces fragments la méthode la plus couramment utilisée est le tamisage.

Cette méthode consiste à passer les aliments masticqués dans un tamis dont le diamètre des mailles est décroissant. On étudie ensuite la répartition des fragments du masticquât sur les différents tamis. On peut donc par la suite évaluer la masse de fragments présente sur chaque tamis mais aussi déterminer, statistiquement, la médiane, l'écart-type ou la tendance centrale. On voit ainsi l'hétérogénéité du masticquât. Ces étapes se font à l'aide d'un logiciel informatique. (29) (30) (79)

ii. Chewing-gum

Pour cette méthode, décrite par Weijenberg (2013), le sujet mâche un chewing-gum bicolore pendant un nombre de cycles masticatoires donné. Il recrache ensuite le chewing-gum qui est rincé, séché puis pesé, mis dans un sac plastique et enfin étalé entre 2 plaques de verre afin d'avoir une épaisseur de 1mm. L'examineur observe le degré de mélange des deux couleurs présentes sur le chewing-gum via un logiciel d'analyse. Ce test est sensible, fiable et facile à mettre en œuvre. Cependant, comme pour le test de granulométrie, il est difficile de faire recracher le chewing-gum à certains sujets. (Cf. Figure 17) (29) (30) (79) (80) (81)

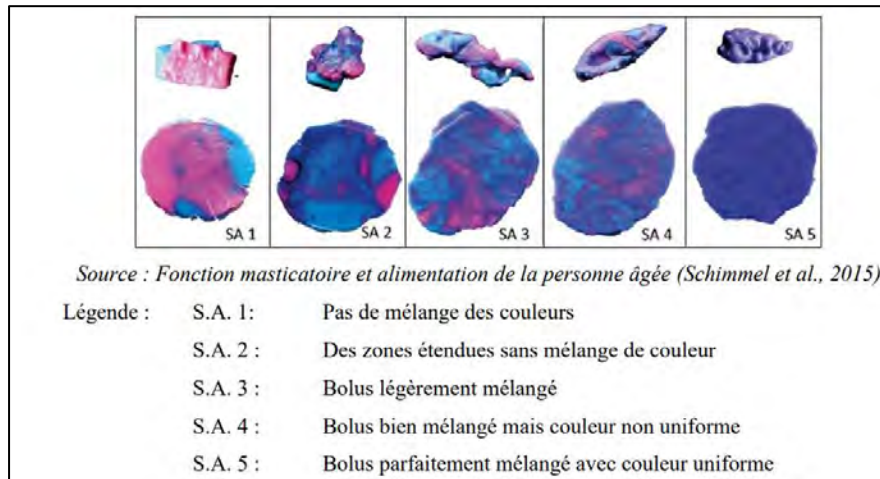


Figure 17 : test de mastication et de mélange d'un chewing-gum bicolore.
Source : *Spatial control of biting behavior : To bit and not to slip*, Joannis Grigoriadis, 2016

iii. Développement d'un aliment test au laboratoire

Il a été montré que le comportement masticatoire peut être influencé par diverses propriétés de la nourriture notamment par la taille, la forme et la saveur de l'aliment. Pour contourner ce problème des aliments modèles visco-élastiques de dureté contrôlée et aux propriétés physiques bien définies ont été développés

1. Optosil®

a. Présentation

De nombreuses études utilisent pour évaluer les performances masticatoires un produit à base d'Optosil®. L'Optosil® est un silicone de polyxyloxane qui se compose d'un silicone lourd et d'un silicone léger qui se mélangent entre eux et auxquels l'on ajoute un activateur. Une réaction de polymérisation se produit et on obtient alors une prise du matériau. L'Optosil® a été de nombreuses fois utilisé dans des études visant à évaluer les performances masticatoires car c'est un matériau qui est reproductible. Il ne présente pas de goût, ne se dissout pas dans la salive et a une conservation de plusieurs jours avant de voir ses propriétés rhéologiques diminuées. (Cf. Figure 18) (70) (82) (83)



Figure 18: aliment modèle Optosil® : silicone et catalyseur. Source : *Reproductibility of a silocone-based test food. Original Research Prosthodontics, 2014*

b. Procédé de fabrication

D'après la littérature, le procédé de fabrication majoritairement retrouvé consiste à mélanger le silicone avec un activateur afin de donner des cubes de 5mm d'épaisseur et de 20 mm de diamètre. Ces cubes sont par la suite mis au four à 60° pendant 16 heures pour une polymérisation complète. Ils sont utilisés ensuite au cours d'expériences visant à évaluer les performances masticatoires. Nous y notons le degré de fragmentation de ces aliments après un certain nombre de cycles masticatoires (autour de 20) une fois recrachés par le patient. (82) (83)

Cependant on trouve différentes méthodes de fabrication des cubes d'Optosil®. Certaines études ne sont pas unanimes sur les dimensions à respecter de l'aliment test, mais également sur les procédés de fabrication de celui-ci (au four ou bien repos à l'air ambiant). Il reste très compliqué de trouver dans la littérature un protocole détaillé et standardisé de la méthode de fabrication des particules d'Optosil®. (82) (83)

D'autres études tendent même à dire que d'autres composants comme l'Optocal® ou encore L'Optezeta®, qui sont d'autres silicones, s'avèrent être de meilleurs aliments tests que l'Optosil®. (84)

c. Mon protocole

A l'initiative de mes responsables de laboratoire, j'ai travaillé à fabriquer des cubes d'Optosil® afin de les comparer à l'aliment test élaboré par notre unité de recherche et de voir si cela s'avérait plus efficace d'utiliser de l'Optosil® comme aliment modèle plutôt que celui conçu au laboratoire.

i. Description

J'ai réalisé trois essais en réalisant 10 pièces d'Optosil® standardisées pour chaque groupe. J'ai prélevé pour chaque groupe une quantité d'Optosil® que j'ai ensuite placée dans une plaque en plastique trouée de 1x1x2mm.

Pour le premier groupe, je n'ai pas ajouté de catalyseur. J'ai seulement placé du silicone dans la plaque.

Pour le second groupe, j'ai mélangé le catalyseur (rose) avec le silicone (jaune) jusqu'à obtenir une couleur homogène et j'ai placé cela dans la plaque.

Enfin pour le dernier groupe, j'ai répété le même processus que pour le second groupe mais en ajoutant que très peu de catalyseur pour diminuer la prise de polymérisation.

J'ai ensuite placé le tout au frigo.

ii. Résultats

Le lendemain pour le groupe 1, comme attendu, le matériau n'avait pas pris. Il était très élastique. Impossible de le sortir correctement de la plaque sans détruire sa forme.

Pour le groupe 2, l'Optosil® était extrêmement dur. Il était, après avoir testé, impossible à mastiquer et à séparer en fragments.

Le groupe 3 semblait être le groupe le plus adapté. Le matériau avait une dureté moyenne. Il a pu être retiré de son socle, mais il était toujours impossible de séparer l'aliment test en morceaux. L'Optosil® a une consistance très caoutchouteuse qui gêne sa mastication et crée même des douleurs musculaires à posteriori.

J'ai donc essayé de placer les particules d'Optosil® au four comme préconisé par certains protocoles mais cela n'a en rien changé leur dureté.

Nous avons donc décidé de rester sur l'aliment test précédemment développé par notre unité de recherche, l'Optosil® étant jugé trop dur et pas adapté pour évaluer les performances masticatoires notamment chez des personnes âgées. De plus se posait la question de la standardisation de mon protocole, à savoir comment gérer la quantité de silicone utilisée pour que cela soit reproductible car mon prélèvement était aléatoire : Pourquoi ne pas utiliser une cuillère graduée ?

Cette étude reste donc en suspens car nous n'avons trouvé aucun protocole détaillé de préparation de l'Optosil®. Il pourrait être à l'avenir intéressant d'effectuer une étude in vitro consistant à comparer l'Optosil® avec notre aliment test afin de savoir lequel s'avère être le plus efficace pour évaluer les performances masticatoires.

2. Aliment modèle conçu au laboratoire

J'ai par la suite travaillé au cours de mon stage au Karolinska Institute sur la constitution d'un aliment test et sur l'analyse par la suite des images de cet aliment test. (cf partie article)

a. Cahier des charges

Cet aliment test, élaboré directement par notre unité de recherche, devait toutefois répondre à un certain nombre de critères essentiels : (29) (30)

- Il devait avoir un goût neutre ou agréable
- Ne pas se dissoudre dans l'eau ou avec de la salive
- Avoir une consistance suffisamment dure :
 - En effet, une étude réalisée sur des rats (85) expliquant la différence au niveau cérébral entre de la nourriture molle et de la nourriture dure, montre qu'avec de la nourriture dure, il y a une meilleure stimulation cérébrale et les rats sont plus intelligents. Au niveau humain, on observe qu'après analyse par IRM, qu'avec de la nourriture dure, on a une stimulation du cortex préfrontal et du cortex occipital qui ont des rôles importants dans les performances cognitives. A l'inverse, la consommation exclusive de nourriture molle n'entraîne pas de stimulation cérébrale et il n'y a donc pas d'impact positif sur la cognition.
- Avoir une bonne viscoélasticité :
 - En effet selon l'article « *In-vivo and In-vitro Studies for Analysis of Mastication in Complete Denture Wearers with Resilient Denture Liners* », il est important d'avoir une bonne viscoélasticité du biomatériau utilisé pour améliorer la durée de la phase d'occlusion et donc les capacités masticatoires.
- Avoir une bonne conservation
- Permettre une standardisation des expériences.

b. Protocole de fabrication

Nous avons donc développé un aliment test de forme ronde, de consistance viscoélastique, à base de gélatine, de 20 mm de diamètre, et 10 mm de hauteur dont la préparation était faite directement au laboratoire. Cette préparation prenait environ une journée avec alternance de phases de cuisine, de repos puis de prise au froid. (cf protocole de fabrication en annexe)



Figure 19 : aliment test conçu au sein du laboratoire dentaire du Karolinska Institute.
Source : appareil Samsung, unité de réhabilitation orale, KI

IV. Protocole d'évaluation des performances masticatoires au sein du Karolinska Institute

Pour évaluer les performances masticatoires par le biais de cet aliment test conçu directement au laboratoire de recherche dentaire du Karolinska Institute, nous avons un protocole strict qui était appliqué pour chaque patient.

Je n'ai travaillé que sur les patients témoins de cette étude à savoir des patients qui ne semblaient pas présenter des troubles de la mastication et qui n'étaient pas porteurs de prothèse dentaire fixe ou amovible.

A. Contexte

Cette étude a été approuvée par le comité régional éthique de Stockholm et a été réalisée en accord avec la déclaration de Helsinki. Les participants de cette étude étaient des volontaires et ont tous été informés du droit de rétractation au cours de l'étude s'ils le souhaitaient. Ils ont reçu une information claire et concise et ont donné leur consentement libre et éclairé. (29) (30)

Les sujets étaient en bon état de santé général et avaient des examens de contrôle buccodentaire réguliers. Ils ne présentaient pas de douleurs articulaires ou musculaire oro-faciales relatives à un dysfonctionnement temporo mandibulaire ou à un souci neurologique perturbant la fonction masticatoire. Ils déclaraient manger correctement et ne présentaient aucun trouble de la mastication ou de la déglutition.

D'un point de vue dentaire, les patients ne présentaient pas de troubles de l'occlusion et étaient tous en classe I d'Angle. Les patients témoins n'avaient que des dents naturelles et ne présentaient pas de soucis parodontaux. Ils étaient des patients jeunes, tous étudiants au Karolinska Institute à Stockholm. Les patients porteurs de prothèse sur implant ont été recrutés dans le département de médecine dentaire du Karolinska Institute à Stockholm.

Les critères d'inclusion pour les participants témoins sont qu'ils sont des patients en bonne santé. Les critères d'exclusion des participants des deux groupes sont la présence de troubles temporo-mandibulaires ou de douleurs oro-faciales, que le questionnaire de dépistage des TMD (annexe) permettra de déterminer. Ils seront également exclus du groupe témoin s'ils ont des implants ou des bridges dentaires, ce que nous leur demanderons au préalable.

Les sujets ont participé à une seule session expérimentale d'environ 30 minutes, qui s'est déroulée dans le laboratoire de recherche sensori-motrice orale du département de médecine dentaire du Karolinska Institute.

Les patients rentraient dans la salle d'étude, s'installaient confortablement sur une chaise, le dos, la tête droite et le regard droit selon le plan de Francfort. Une série de test était ensuite effectuée.

B. Procédé

Dans notre protocole d'évaluation des performances masticatoires nous avons procédé à une analyse à la fois subjective et objective de la mastication. (Figure 20)

L'analyse subjective, illustrée par la figure 24, se caractérisait par la réponse au questionnaire MOCA.

L'analyse objective quant à elle était représentée par l'analyse de la mastication en tant que telle, (Figure 21) par l'analyse de la cinématique (Figure 22), et de l'activité musculaire (Figure 23).

Concernant l'analyse de la mastication en tant que telle, les deux éléments les plus importants de notre étude ont été l'analyse de la capacité à découper un aliment en plusieurs fragments (crackers/aliment test) et la capacité à mixer un aliment (chewing-gum bicolore) pour un nombre de cycles masticatoires donné.

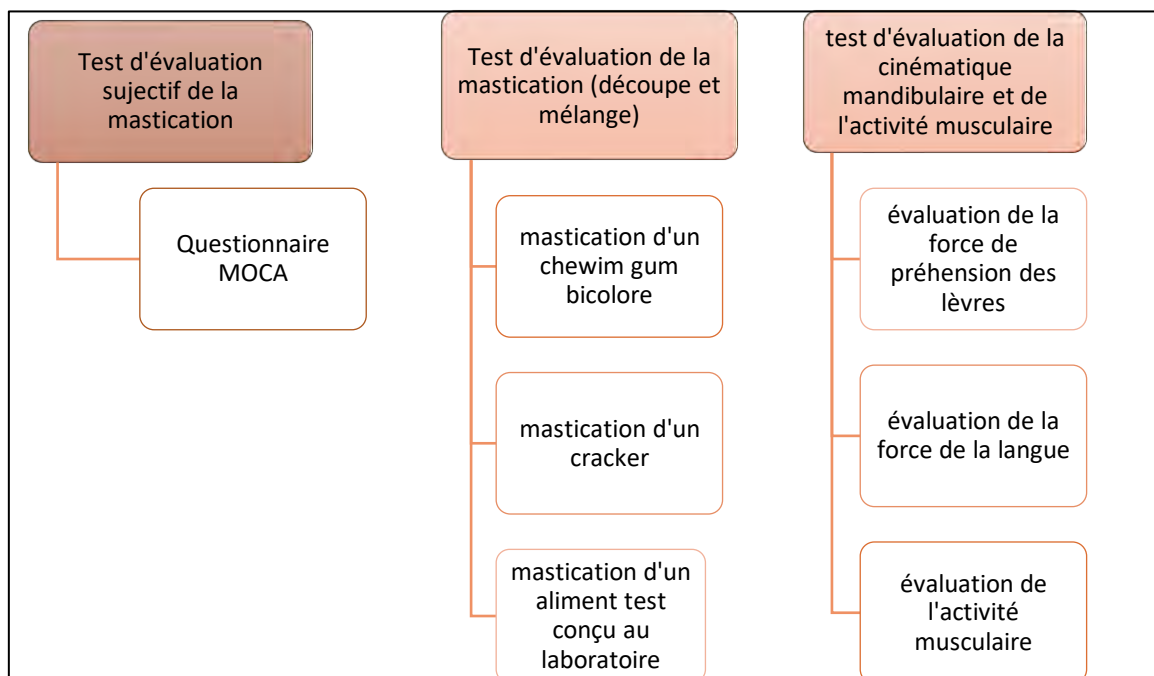


Figure 20 : protocole des tests effectués au patient pour évaluer leurs performances masticatoires

- Protocole des différents tests effectués aux patients :

Tests objectifs			
Evaluation des performances masticatoires			
	Test du chewing-gum	Test du cracker	Test de l'aliment test
<u>Protocole</u>	Mastication d'un chewing-gum bicolore aux patients pendant 10 cycles masticatoires puis les patients recrachent le chewing-gum quand on le leur demande. Les chewing-gums ont ensuite été rincés puis placés dans une pochette plastique et écrasés entre 2 plaques de verre pour avoir une épaisseur de 1 mm avant d'être analysés. Ici on évalue le coefficient de mixabilité.	Mastication d'un cracker pendant une durée de 10 cycles masticatoires. Le patient recrache par la suite le cracker. Les morceaux sont ensuite séparés les uns des autres puis analysés. On évalue ici le coefficient de comminution.	Les participants mâchent l'aliment test pendant que nous comptons les cycles de mastication. Après 10 cycles de mastication, les sujets sont invités à recracher les morceaux dans une boîte de Pétri. Les composants seront ensuite séparés les uns des autres dans la boîte de Pétri, qui sera ensuite photographiée de manière standardisée. On évalue ici le coefficient de comminution.
Notons que la performance masticatoire sera considérée comme meilleure plus la surface totale sera grande et plus le nombre de composants broyés sera élevé.			

Figure 21 : Tests objectifs : évaluation des performances masticatoires

Test objectif	
Evaluation de la cinématique mandibulaire	
<u>Protocole</u>	Pour étudier le contrôle moteur de la mâchoire, les participants mâchent un nouveau morceau de l'aliment viscoélastique standardisé, tandis que les mouvements de la mâchoire et l'activité EMG des muscles masséters sont mesurés. Nous utilisons un dispositif sur mesure (Université d'Umeå, section physiologie, IMB, Umeå, Suède) pour mesurer les mouvements tridimensionnels de la mâchoire inférieure par rapport à la mâchoire supérieure. Un petit aimant (10x5x5 mm) sera fixé sur les surfaces buccales des incisives mandibulaires, avec un composite dentaire durci par une lampe à photopolymériser. Un cadre léger, équipé d'un réseau de plusieurs capteurs magnétiques, sera fixé à la tête et suivra la position de l'aimant. Pour enregistrer l'activité moto-neuronale, des techniques d'électromyographie de surface (EMG) multicanaux seront utilisées. Pendant la

	séquence de mastication, les données physiologiques de la mastication liées à l'activité musculaire et à la trajectoire des mouvements de la mâchoire seront recueillies et analysées (nombre de cycles, durée de la séquence, fréquence masticatoire, activité EMG pendant chaque cycle et pendant toute la séquence, amplitude verticale, amplitude latérale, vitesse de fermeture).
--	--

Figure 22 : Test objectif : Evaluation de la cinématique mandibulaire et de l'activité des muscles masticateurs

	Tests objectifs		
	Evaluation de l'activité musculaire		
	lèvres	langue	Electromyographie
Protocole	Pour évaluer la force de préhension des lèvres, un capteur a été placé entre les lèvres du patient. Celui-ci devait à notre signal pincer fort ses lèvres et les contracter aussi fort que possible. Le capteur était relié à un appareil permettant de mesurer la force de préhension labiale. Le test a été répété 3 fois.	Pour évaluer la force de la langue, un capteur a été placé sur la langue du patient. A notre signal celui-ci doit pousser à l'aide de sa langue le capteur contre son palais avec le plus de force possible. L'activité musculaire linguale était alors enregistrée. Le test a été répété 3 fois.	Cf. évaluation de la cinématique mandibulaire

Figure 23 : Tests objectifs : Evaluation de l'activité musculaire

	Test subjectif
	Questionnaire MOCA
Protocole	Dès leur entrée dans le laboratoire, les patients avaient 10 minutes pour compléter un questionnaire d'évaluation cognitive

Figure 24 : Test subjectif : Questionnaire MOCA

- Variables de l'étude :

o *Performance de mastication*

Dans le test de fragmentation des aliments, les variables de résultat sont le nombre total de morceaux et la surface totale de l'aliment testé après l'avoir mâché et recraché. Plus le nombre de morceaux est important et plus la surface totale est grande, meilleur est le résultat.

o *Comportement de mastication*

Le comportement de mastication sera évalué en mesurant le mouvement tridimensionnel de la mâchoire inférieure par rapport à la mâchoire supérieure et l'activité musculaire des muscles masséters. Elle sera aussi considérée en fonction de l'activité musculaire des muscles intervenant secondairement dans la mastication à savoir les lèvres et la langue.

SPSS, Statistica®, ou d'autres outils statistiques similaires seront utilisés pour l'analyse des données collectées. Une valeur P de 0,05 sera considérée comme statistiquement significative.

A noter que cette étude est encore en cours de réalisation.

Mon travail a donc surtout constitué en l'analyse de l'aliment test.

En effet après avoir recraché l'aliment test, nous le disposons dans une boîte de pétri pour pouvoir par la suite le prendre en photo pour l'analyser via le logiciel ImageJ®.

Cependant, au cours de la prise de photographie, de nombreux paramètres peuvent fluctuer et biaiser les résultats obtenus par la suite sur le logiciel d'analyse d'images ImageJ®.

Mon maître de stage, le Docteur Abhishek KUMAR a particulièrement insisté sur l'importance de la validité et de la reproductibilité d'une étude. Ainsi il a fallu que je standardise les paramètres de prise de photo afin que, quelles que soient les conditions, le résultat soit au minimum impacté par les conditions extérieures.

Selon l'étude « *Validity and reability of a newly developed method for evaluating masticatory function using discriminant analysis* » (S. Sato 2003), la validité se définit comme étant ce à quoi correspond une variable. Ce qu'elle est censée mesurer. (86)

La fiabilité quant à elle correspond au degré auquel les 2 valeurs sont cohérentes l'une à l'autre lorsque les mesures sont prises un certain nombre de fois. Elle correspond au fait qu'on obtient le même résultat bien qu'on ait répété l'exercice un certain nombre de fois. (86)

L'objectif final est donc de créer un aliment qui soit standardisé et reconnu comme valide et reproductible à l'appui de nos différentes études afin d'étendre la commercialisation de cet aliment en France et mondialement.

L'idéal serait d'avoir cet aliment test disponible en pharmacie. Les praticiens commandent cet article, font un test de mastication (comme décrit ci-dessus) après une pose de prothèse sur implant. L'aliment test serait ensuite évalué après mastication via une application et en fonction de résultats un programme de rééducation serait proposé au patient afin qu'il puisse améliorer ses capacités masticatoires dans la durée.

V. Mon étude : conditions de prise photographique de l'aliment test

Titre : Étude in vitro pour standardiser les conditions de développement d'un test de performance masticatoire.

A. Introduction

La fonction masticatoire joue un rôle indispensable dans les processus de déglutition, de digestion et par conséquent sur l'état nutritionnel. Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes pour évaluer de manière subjective la mastication.

Néanmoins, l'évaluation objective de celle-ci reste une tâche difficile. Actuellement, la fonction masticatoire est généralement évaluée par la capacité des sujets à découper en différents fragments un aliment test mais également la capacité pour ce patient de mixer et mélanger correctement cet aliment test. Ces deux paramètres sont aujourd'hui évalués à l'aide de différents protocoles impliquant des aliments tests. Ces derniers sont majoritairement découpés, ou bien mélangés uniformément pour évaluer l'efficacité masticatoire. Les tests de fragmentation des aliments sont axés sur l'évaluation du degré de décomposition de l'échantillon en petits morceaux. Ces aliments tests utilisés au cours des différentes études d'évaluation des performances masticatoires sont généralement, soit une substance alimentaire naturelle comme des carottes (Leischker, Kolb et al. 2010), des noix (Grundy, Grassby et al. 2015), etc., soit des substances artificielles telles que des cubes Optosil® à base de silicium (Sierpinska, Golebiewska et al. 2007, Carretero, Sanchez-Ayala et al. 2011, Sanchez-Ayala, Campanha et al. 2013, Isabel, Moysés et al. 2015, Flores-Orozco, Tiznado-Orozco et al. 2016), ou des billes de fuchsine (Félicio, Couto et al. 2008, Sánchez-Ayala, Farias-Neto et al. 2016).

Ces aliments sont mastiqués pendant un nombre établi de cycles masticatoires puis leurs dimensions sont souvent par la suite évaluées par tamisage afin de déterminer la taille moyenne des particules mastiquées. Bien que les tests soient fiables, il est souvent suggéré que cette procédure peut être assez coûteuse, qu'elle prend du temps, qu'elle nécessite un équipement spécialisé et qu'elle est difficile à utiliser, en particulier dans les installations cliniques. (Elgestad Stjernfeldt, Sjögren et al. (2019)).

Les chewing-gums sont également souvent utilisés dans les tests d'efficacité masticatoire. Ces tests reposent sur la capacité des participants à mixer deux chewing-gums de couleur différente. Ces tests présentent une bonne validité et une bonne fiabilité lors des études comparant des personnes avec un état bucco-dentaire différent (patients avec des pertes dentaires comparativement à des patients avec exclusivement des dents naturelles) (Speksnijder, Abbink et al. 2009, Wallace, Samietz et al. 2018). Cependant, on note que pour des personnes présentant des caractéristiques proches, ces tests manquent de fiabilité. (Van der Bilt, Mojet et al. 2010).

Ainsi, le type et la structure de l'aliment test choisi pour évaluer l'efficacité et les performances masticatoires est déterminant.

Les aliments naturels utilisés comme aliments tests offrent l'avantage supplémentaire d'être normalement consommés. Cependant, la consistance des aliments, due à la saison ou à la situation géographique, peut influencer la quantification de l'efficacité masticatoire (Isabel, Moysés et al. 2015).

En guise de substitut, des substances de test artificielles telles que les cubes Optosil® à base de silicium peuvent être utilisées dans la séparation des aliments et pourraient constituer une bonne alternative pour standardiser l'évaluation de la fonction masticatoire. Néanmoins, ces substances ne simulent peut-être pas le comportement naturel de mastication puisque l'on sait que la substance testée ne peut pas être avalée (Pocztaruk, Frasca et al. 2008). On suppose que certains événements du processus de mastication sont altérés (Woda, Foster et al. 2006, Woda, Mishellany et al. 2006). La mastication vise à préparer un bolus mou avalable, ce qui est compromis si la personne ne cherche pas à avaler le bolus.

Ainsi, le type d'aliment test choisi pourrait influencer l'aspect de la mastication qui est évalué, par exemple, la morsure, l'écrasement/le broyage ou le mélange ou une combinaison de ceux-ci.

Par conséquent, il a été suggéré que plusieurs aliments tests plutôt qu'un seul pourraient être plus utiles afin d'évaluer les performances masticatoires des patients.

C'est pourquoi, les aliments tests préparés en laboratoire à l'aide d'une recette cohérente peuvent présenter les avantages évidents d'être standardisés et en même temps d'être consommés naturellement. Des études antérieures ont utilisé des aliments tests viscoélastiques pour étudier l'activité des muscles de la mâchoire et l'adaptation à la dureté des aliments chez les enfants (Almotairy, Kumar et al. 2020), les jeunes adultes (Peyron, Lassauzay et al. 2002, Grigoriadis, Johansson et al. 2014, Grigoriadis, Kumar et al. 2019) et les personnes âgées (Peyron, Blanc et al. 2004, Grigoriadis, Johansson et al. 2011, Grigoriadis et Trulsson 2018).

Ce type d'aliment offre l'avantage d'être parfaitement standardisé car les propriétés physiques telles que les dimensions de l'aliment sont connues et maîtrisées. On peut donc adapter le type d'aliment test choisi et ses propriétés physico-chimiques en fonction du groupe cible. Un aliment test mécaniquement difficile peut nécessiter des forces de morsure plus importantes et une meilleure coordination sensori-motrice pour décomposer l'aliment test résistant en morceaux suffisamment petits (Ravosa, Scott et al. 2015).

Les aliments viscoélastiques sont complexes et nécessitent un haut degré de contrôle sensorimoteur pour les décomposer.

Une mauvaise régulation sensori-motrice et une mauvaise capacité de mastication, comme chez les personnes portant des prothèses dentaires, un état dentaire compromis et les personnes âgées fragiles, peuvent être incapables d'effectuer la tâche.

Par conséquent, il pourrait s'agir d'un bon test pour évaluer la difficulté de mastication, en particulier chez les personnes âgées dont la dentition est compromise et la régulation sensori-motrice réduite.

B. Objectif

L'hypothèse de notre étude était que certains paramètres influencent l'évaluation et l'analyse de la performance masticatoire. Par conséquent, la standardisation de ces conditions peut augmenter la précision du test. Nous avons donc cherché à étudier l'effet de différentes conditions sur l'évaluation d'un test de performance masticatoire basé sur la fragmentation des aliments et à standardiser les conditions pour une meilleure évaluation de la fonction masticatoire.

C. Matériels et méthodes

L'étude in vitro a été réalisée au Laboratoire de régulation sensorimotrice orale et de la fonction de mastication, Département de médecine dentaire, Karolinska Institute, Suède.

Des échantillons de nourriture viscoélastique dure ont été préparés en utilisant une recette standardisée décrite en détail dans des études précédentes (Cf. annexe 2).

La performance masticatoire est évaluée en demandant aux sujets de l'étude de mâcher l'aliment test pendant dix mouvements de mastication, puis en demandant aux participants d'arrêter brusquement de mâcher et de recracher les morceaux entiers mâchés de l'aliment test dans une boîte de Pétri blanche.

Ensuite, les morceaux de l'aliment test sont photographiés et les images sont analysées par un logiciel de traitement d'images. Plus précisément, le nombre de morceaux et la surface totale des morceaux sont calculés pour quantifier la performance masticatoire. Plus le nombre de morceaux est élevé et plus la surface totale est grande, meilleure sera la performance masticatoire.

Une série de tests in vitro a été réalisée sur ces aliments de laboratoire afin d'étudier l'effet de différentes conditions et de standardiser les conditions pour une meilleure évaluation de la fonction masticatoire. (Figure 25)



Figure 25 : Préparation des boîtes de Pétri avec ma collègue Summer.

- Test 1 :

Nous avons commencé par préparer 10 échantillons d'aliments tests, le premier échantillon contenant un aliment test entier et le dixième 10 aliments tests entiers. Au cours de ce test, 10 boîtes de Pétri ont été prises et étiquetées de 1 à 10. La première boîte de Pétri contenait un aliment test entier et chaque boîte de Pétri contenait un aliment test supplémentaire jusqu'à la dixième boîte de Pétri qui contenait 10 aliments test entiers. Les photographies des dix boîtes de Pétri ont ensuite été prises et stockées pour une analyse ultérieure des images. (Cf. Figure 26)

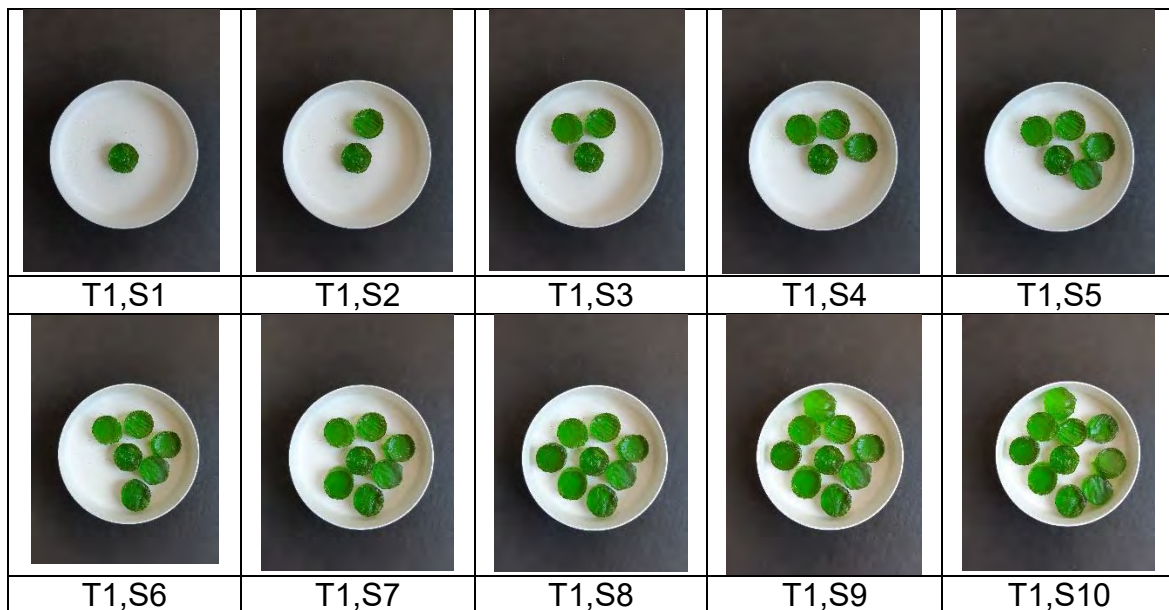


Figure 26. Tableau représentatif des échantillons des aliments tests du Test 1 ; avec T1 correspondant au test 1, et Sx correspondant aux échantillons.

- Test 2 :

Nous avons préparé 15 échantillons d'aliments tests pour ce test. Les 8 premiers échantillons correspondent à des aliments tests découpés de manière proportionnelle. Le premier échantillon correspond à un aliment test entier par exemple, le second à un aliment test coupé en 2, le 3ème à un aliment test coupé en 4 jusqu'au 8ème qui correspond à un aliment test coupé en 128 petits morceaux.

Les échantillons 9 à 15 correspondent à des aliments tests coupés au hasard, l'objectif était d'essayer de séparer l'aliment test comme s'il avait été mâché. Nous avons ensuite déterminé au sein de ces échantillons 3 groupes en fonction du nombre de morceaux et de la surface totale représentant : un groupe de mauvais mâcheurs, un groupe de moyens mâcheurs et un groupe de bons mâcheurs.

Ainsi, nous avons un total de 15 échantillons avec 8 aliments tests coupés proportionnellement et 6 aliments tests imitant les différents types de résultats pouvant être obtenus avec une efficacité de mastication différente. (Cf. Figure 27)

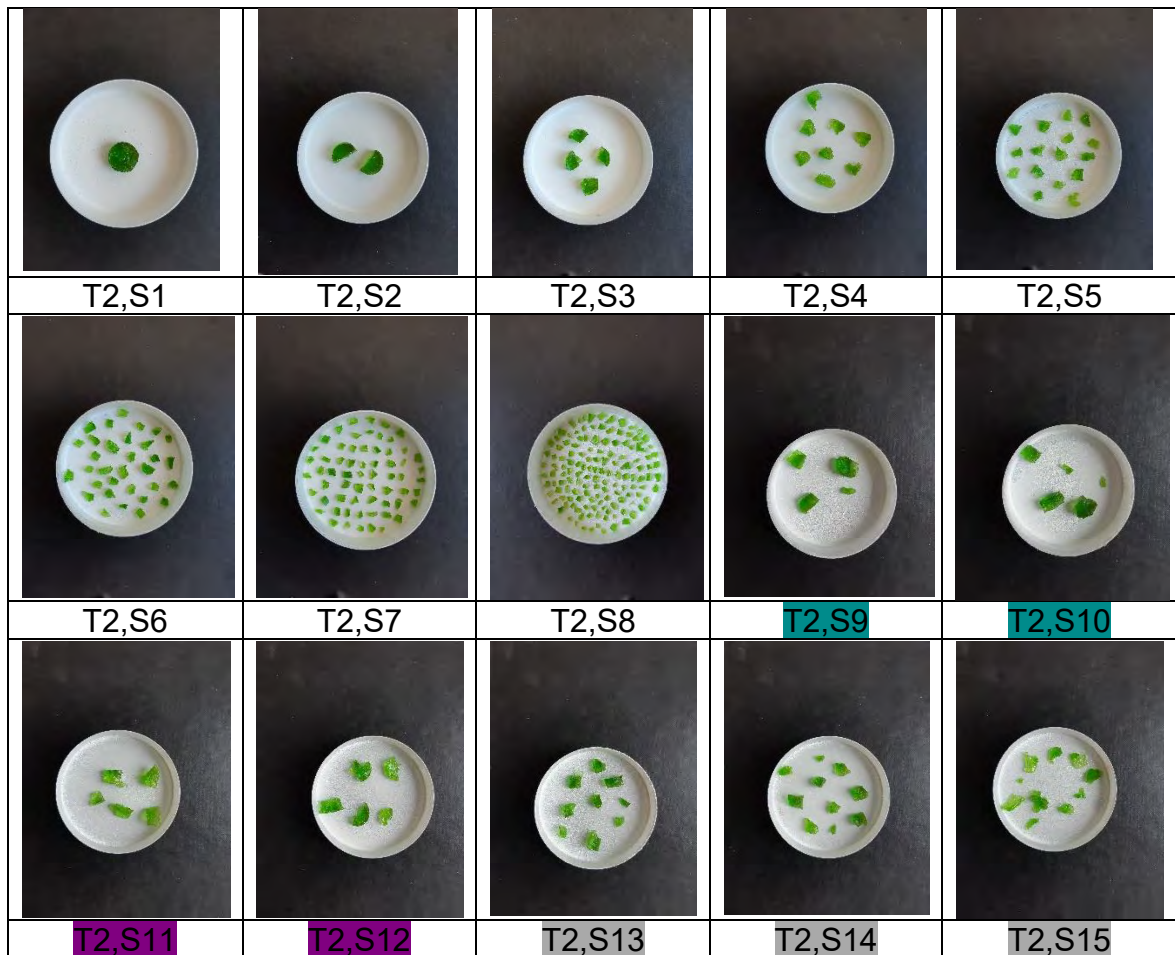


Figure 27. Tableau représentatif des échantillons des aliments tests du Test 2; avec T2 correspondant au test 1, et Sx correspondant aux échantillons. Les échantillons bleus correspondent au groupe des mauvais mâcheurs, les mauves au groupe des mâcheurs moyens et les gris au groupe des bons.

a.Paramètres évalués

Les échantillons préparés à partir du test 2 ont été soumis à différentes conditions comme indiqué ci-dessous. Les échantillons ont été photographiés dans les conditions décrites et les images ont été analysées ultérieurement. Ainsi, tous les tests décrits ci-dessous n'ont été réalisés que sur les aliments du test 2.

b.Conditions :

1. Influence du flash photographique : Images avec et sans flash
2. Influence de la distance à laquelle les photos sont prises : 15, 20 ou 30 cm
3. Influence de l'arrière-plan (fond noir, gris ou blanc)
4. Influence du type de caméra (tablette, marque du téléphone)
5. Influence du zoom
6. Influence de la luminosité de l'environnement de prise de photos
7. Influence du choix des pixels de l'image avant son analyse via le logiciel ImageJ®
8. Influence de l'eau

9. Evaluation de la variabilité intrapersonnelle
10. Evaluation de la variabilité interpersonnelle.

A partir de ces échantillons tests, nous avons cherché à expérimenter différents paramètres pouvant influencer l'analyse des aliments tests et donc l'analyse de l'efficacité de la mastication.

Parmi les différents paramètres analysés, nous comptons notamment lors de la prise photographique : la présence ou non du flash, la distance à laquelle les photos ont été prises, le type de fond, l'impact de la lumière lors de la prise de vue, le type d'appareil photo utilisé, le zoom utilisé, le choix de la résolution avant l'analyse des images, l'impact de l'eau sur les aliments tests. Des tests visant à évaluer la variabilité intrapersonnelle (test-retest) et interpersonnelle ont également été réalisés.

Nous avons donc réalisé 8 tests liés à la prise photographique avec les 15 échantillons du test 2 de manière standardisée afin de voir si ces paramètres avaient une influence sur l'analyse des aliments testés ou non.

c.Analyse des images

Pour chaque test, 15 photos ont été prises en faisant varier le paramètre à analyser. Une fois les photos prises, celles-ci ont été évaluées à l'aide d'un logiciel appelé ImageJ®. ImageJ® est un logiciel d'analyse d'image utilisé notamment pour le comptage cellulaire. Dans notre étude, nous l'utilisons pour évaluer le nombre de pièces séparées et la surface totale de celles-ci. ImageJ® nous donne de nombreux paramètres mais nous nous intéressons principalement à la surface totale en nous basant sur le fait que plus la surface totale est importante, plus elle est intéressante car elle signifie que le patient a beaucoup mastiqué et qu'il a donc une bonne efficacité masticatoire.

Le premier test a consisté à analyser les 15 échantillons distincts (les 8 premiers découpés proportionnellement et les 6 autres aléatoirement) avec et sans flash, puis les résultats ont été analysés par ImageJ®.

Ces mêmes échantillons ont été utilisés pour les tests suivants, à savoir l'évaluation de la distance pour le second test, de l'arrière-plan pour le troisième test, du type d'appareil photo pour le quatrième test, du zoom pour le cinquième test, de la luminosité pour le sixième test, de la taille des pixels pour le septième test et enfin l'impact de l'eau pour le huitième test.

Le test réalisé avec de l'eau a été le dernier test réalisé car une fois l'eau ajoutée aux aliments testés, leur volume n'était plus identique et les tests précédents n'auraient donc pas pu être réalisés de manière fiable. Le but de rajouter de l'eau était de mimer l'action de la salive afin de voir si celle-ci avait un impact sur la surface totale de l'aliment test mastiqué ou non.

Pour le premier test, nous avons donc pris des photos de l'ensemble des aliments testés en prenant une à une les photos d'abord sans puis avec flash. L'opération a été réalisée 15 fois, une fois avec flash, une fois sans flash, et ce pour

chaque boîte de Pétri. Les autres paramètres n'ont pas été modifiés et nous avons défini de manière aléatoire une distance de 15cm, un fond noir pour la prise de photo, et les photos ont été prises avec un Samsung Galaxy A8.

Pour le deuxième test, nous avons évalué l'impact de la distance de la photo en la faisant varier entre 15, 20 et 30 centimètres. Chaque photo a été prise 3 fois en faisant varier la distance entre la table sur laquelle était posée la boîte de Pétri et le bas du trépied.

Pour le troisième test, chaque photo a été prise 3 fois en variant le fond sur lequel la boîte de Pétri était placée, à savoir un fond noir, gris ou blanc.

Pour le quatrième test, nous avons voulu analyser le type d'appareil photo et voir s'il y avait une différence sur le nombre de pièces et la surface totale selon que nous prenions les photos avec un Samsung Galaxy A8, un iPhone 13 Pro ou une tablette. Encore une fois, chaque photo a été prise 3 fois et chaque fois avec un type d'appareil photo différent.

Pour le cinquième test, nous avons voulu observer si l'utilisation du zoom ou non avait un impact sur l'analyse des photos par ImageJ®. Nous avons donc pris des photos de chaque échantillon avec un Iphone avec la caméra normale et avec la macro-caméra.

Pour le sixième test, nous avons voulu faire varier la luminosité de la pièce dans laquelle la photo a été prise. Pour cela, nous devions déjà définir 3 pièces avec 3 types de luminosité différents. Pour ce faire, nous avons utilisé l'application Lux® qui détermine la puissance lumineuse (en lux) de chaque pièce. Nous avons volontairement choisi une pièce sombre (faible lux), une pièce avec une luminosité moyenne et une pièce très lumineuse (près d'une fenêtre). Chaque échantillon a été pris 3 fois dans 3 pièces différentes avec des luminosités différentes et les images ont été analysées avec ImageJ®.

Pour le septième test nous avons utilisé les images récupérées de T1 (à savoir les échantillons complets avec et sans flash) et nous avons changé la résolution des images. Nous avons choisi 3 résolutions : 0.25 MP, 2 MP et 4 MP. Chaque image a ensuite été enregistrée à ces 3 résolutions différentes et elles ont été analysées par ImageJ®.

Pour le dernier test, nous avons voulu évaluer l'impact de l'eau sur les échantillons. Nous avons ajouté de l'eau dans chaque boîte de Pétri, attendu 5 minutes et retiré l'eau. Des photos ont ensuite été prises 30 min après avoir retiré l'eau. L'expérience a été répétée 5 fois au total et les 5 flux de photos ont ensuite été analysés par ImageJ®.

Chaque test a été réalisé de manière standardisée et chaque photo a ensuite été analysée avec le logiciel ImageJ® en suivant toujours le même protocole.

Tous les résultats ont été placés dans un fichier Excel® et nous avons essentiellement regardé le nombre de pièces et la surface totale. L'objectif était

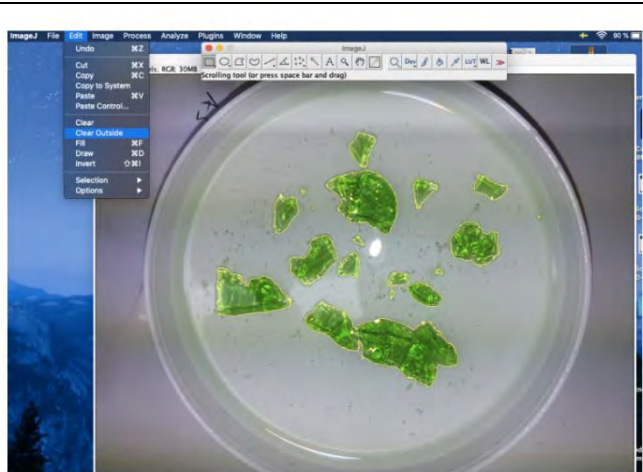
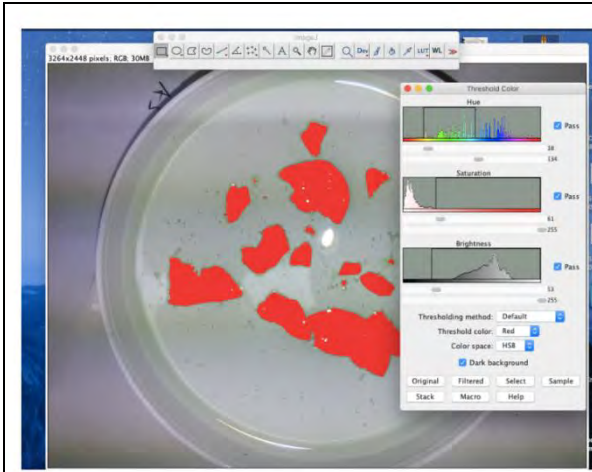
de voir si ces données variaient si les conditions de prise photographique étaient différentes. (Cf. Figure 28)



Figure 28 : Laboratoire et zone de prise des photos des différents tests.

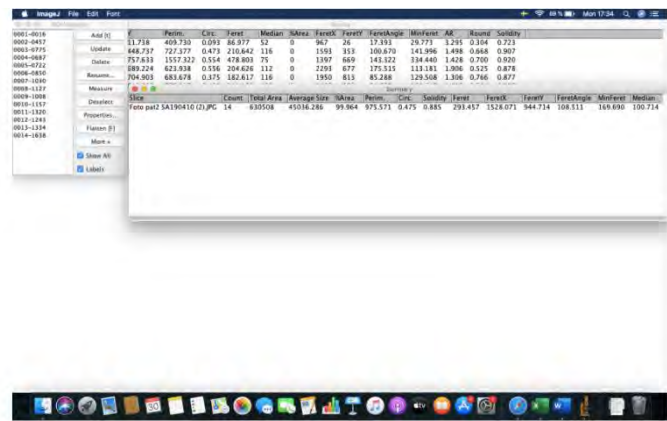
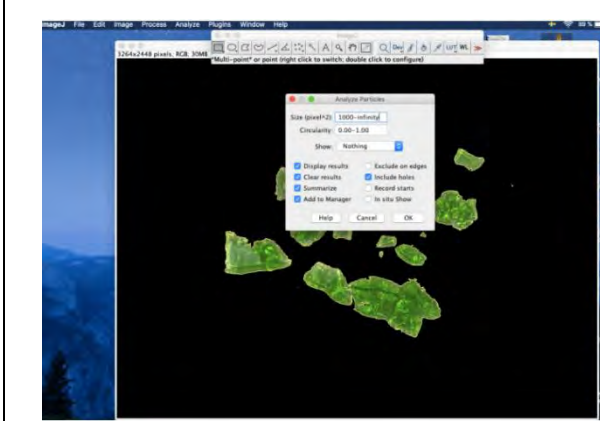
D. Résultats

Nous avons donc analysé chaque image avec ImageJ®. Pour chaque image, nous avons procédé à une analyse colorimétrique en appliquant des paramètres déjà standardisés tels que la saturation, la luminosité etc... Nous avons toujours appliqué les mêmes valeurs pour ces paramètres car ce sont ceux qui semblaient être les plus précis car ils couvraient toute la surface de l'aliment testé. Chaque analyse nous a donné le nombre de morceaux comptés et la surface totale. D'autres paramètres étaient également donnés mais nous nous sommes concentrés sur l'analyse du nombre de morceaux et de la surface totale. (Cf. Figure 29).



Etape 1 : appliquer les paramètres standardisés

Etape 2 : définir les morceaux à évaluer et les isoler



Etape 3 : définir les paramètres de mesure

Etape 4 : noter l'aire totale et le nombre de pièces

Figure 29 : Protocole d'analyse des photos avec ImageJ®. Pour chaque image, nous avons séparé l'arrière-plan de l'aliment test puis une analyse colorimétrique avec des paramètres standardisés a été réalisée afin d'évaluer le nombre de morceaux et la surface totale. *Source : ImageJ®*

Toutes les données ont été reportées dans un document Excel® et des graphiques de la surface totale ont été créés pour avoir une première idée de ce que les données montraient. (Cf. Figure 30)

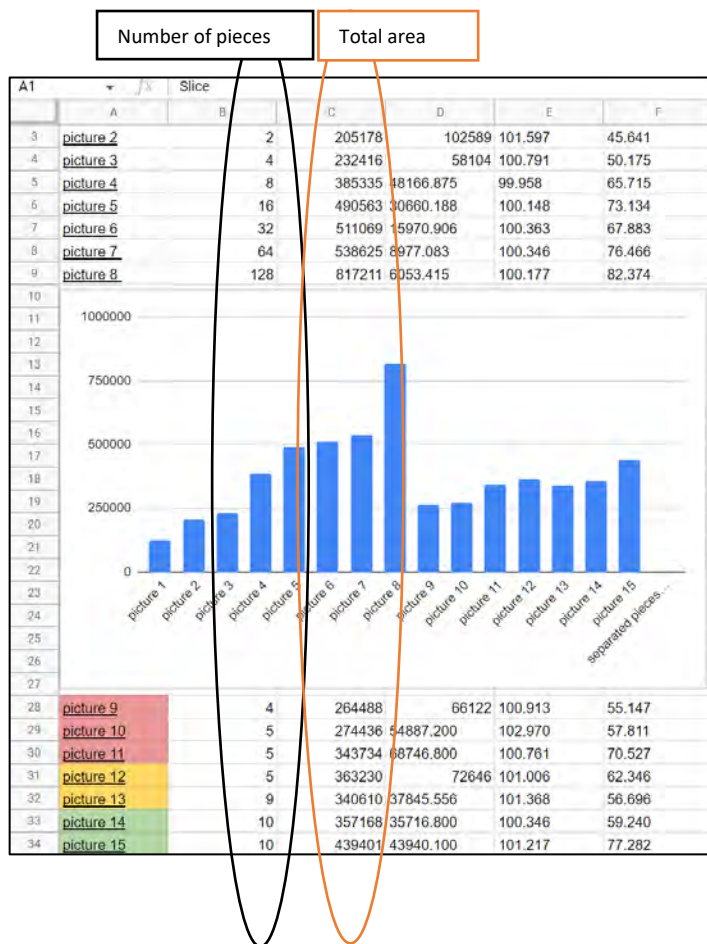


Figure 30 : Nombre de morceaux et aire totale des aliments tests pour chaque photo. Cette manipulation a été réalisée pour chaque test : après analyse colorimétrique, les résultats ont été reportés dans un document Excel® puis un graphique a été créé avec en abscisse les différentes photos et en ordonnée l'aire totale.

Avec « number of pieces » correspondant au nombre de pièces et « total area » correspondant à l'aire totale.

Source : Excel®

Une fois l'analyse colorimétrique réalisée pour chaque image de toutes les conditions évaluées (test 1 à 10) et le report de ces résultats dans le document Excel®, nous avons procédé à une analyse statistique.

Nous avons commencé cette analyse statistique en appliquant à nos données le T-test. Le T-test est un test souvent utilisé pour comparer des données binaires. Ce test permet une première analyse statistique notamment pour évaluer s'il y a une différence significative entre les moyennes de deux groupes, mais il a tendance à manquer en fiabilité et en précision. (Cf. Figure 31)

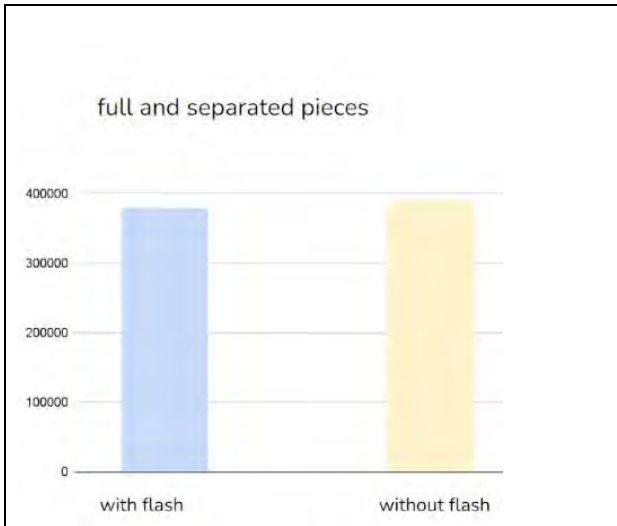
Slice	Count	Total Area	Count	Total Area	Count	Total Area
		15 cm_flash 20/04		20 cm_flash 21/04		30 cm_flash 21/04
picture 1	1	126242	1	72974	1	38706
picture 2	2	205178	2	99103	2	46745
picture 3	4	232416	4	118100	4	54078
picture 4	8	385335	8	198188	8	91890
picture 5	16	490563	16	241526	16	109553
picture 6	32	511069	32	269542	32	124654
picture 7	64	538625	64	285591	64	130275
picture 8	128	817211	128	422882	128	166842
picture 9	4	264488	4	141824	4	65917
picture 10	5	274436	5	163921	5	63878
picture 11	5	343734	5	195855	5	83832
picture 12	5	363230	5	203087	5	88793
picture 13	9	340610	9	191829	9	79112
picture 14	10	357168	10	198798	10	85903
picture 15	10	439401	10	247824	10	102428
	20,2	379313,7333	20,2	203389,6	20,2	88840,4
		0,00005051061749		0,000001020631		0,000000710981

Nombre de pièces

Aire totale

Figure 31 : Exemple du T-test réalisé pour le test 2 évaluant l'impact de la distance de prise photographique. Ce test nous donnait des résultats quant au nombre de morceaux et à l'aire totale. *Source : Excel®*

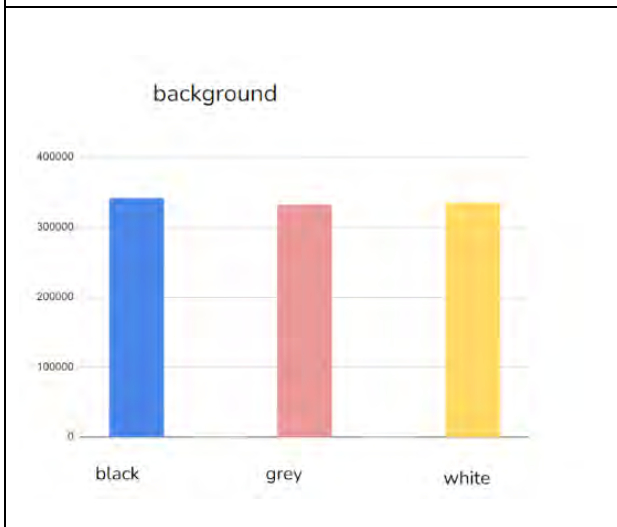
A partir des résultats statistiques obtenus avec le T-test, nous avons réalisé des graphiques correspondants. Ces graphiques n'ont concerné que l'aire totale car pour tous les tests c'était la seule donnée à varier, le nombre de pièces ne variant pas malgré le changement des différentes conditions. (Cf. Figure 32)



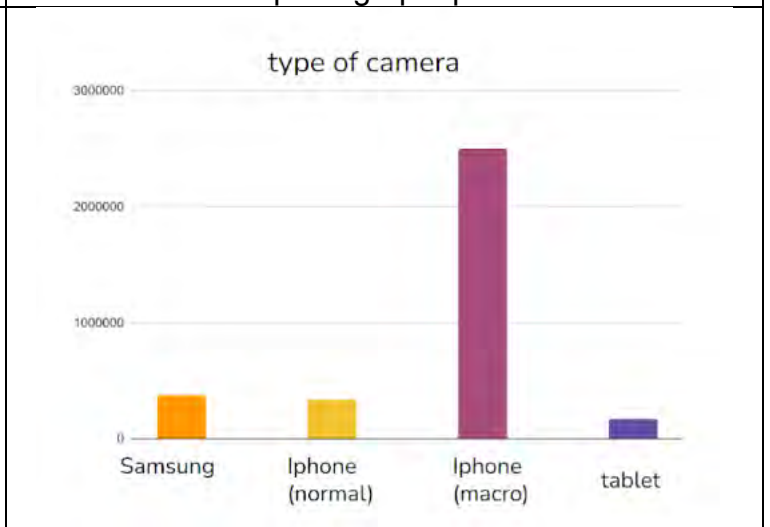
Test 1 : évaluation du flash



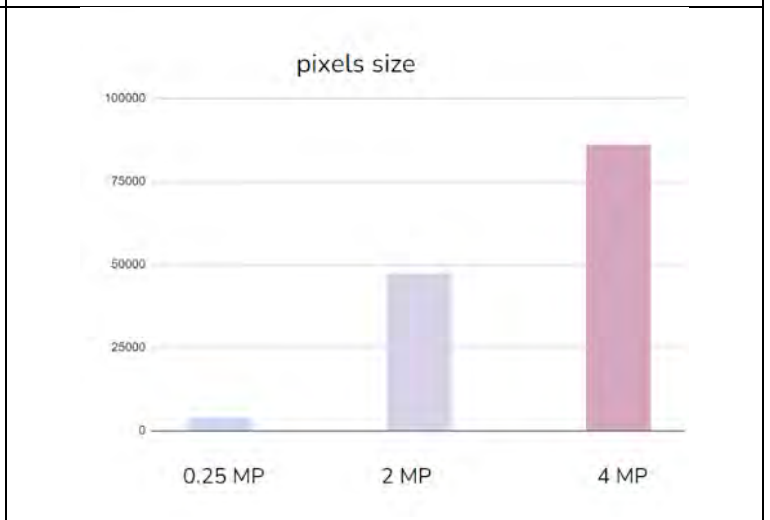
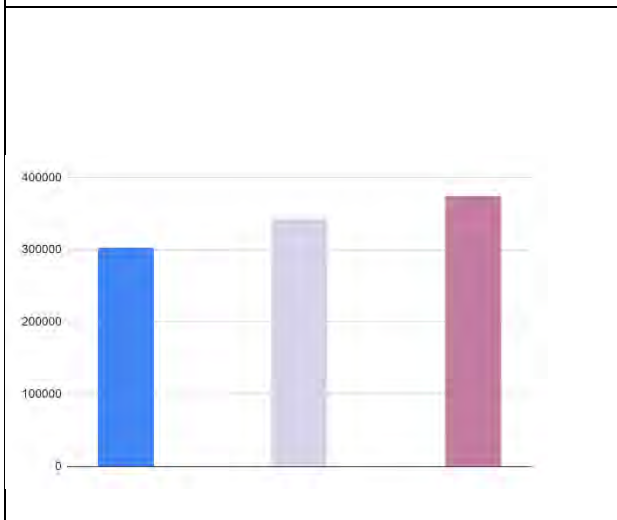
Test 2 : évaluation de la distance de prise photographique



Test 3 : évaluation de l'arrière plan



Tests 4 et 5 : évaluation du type de caméra et du zoom



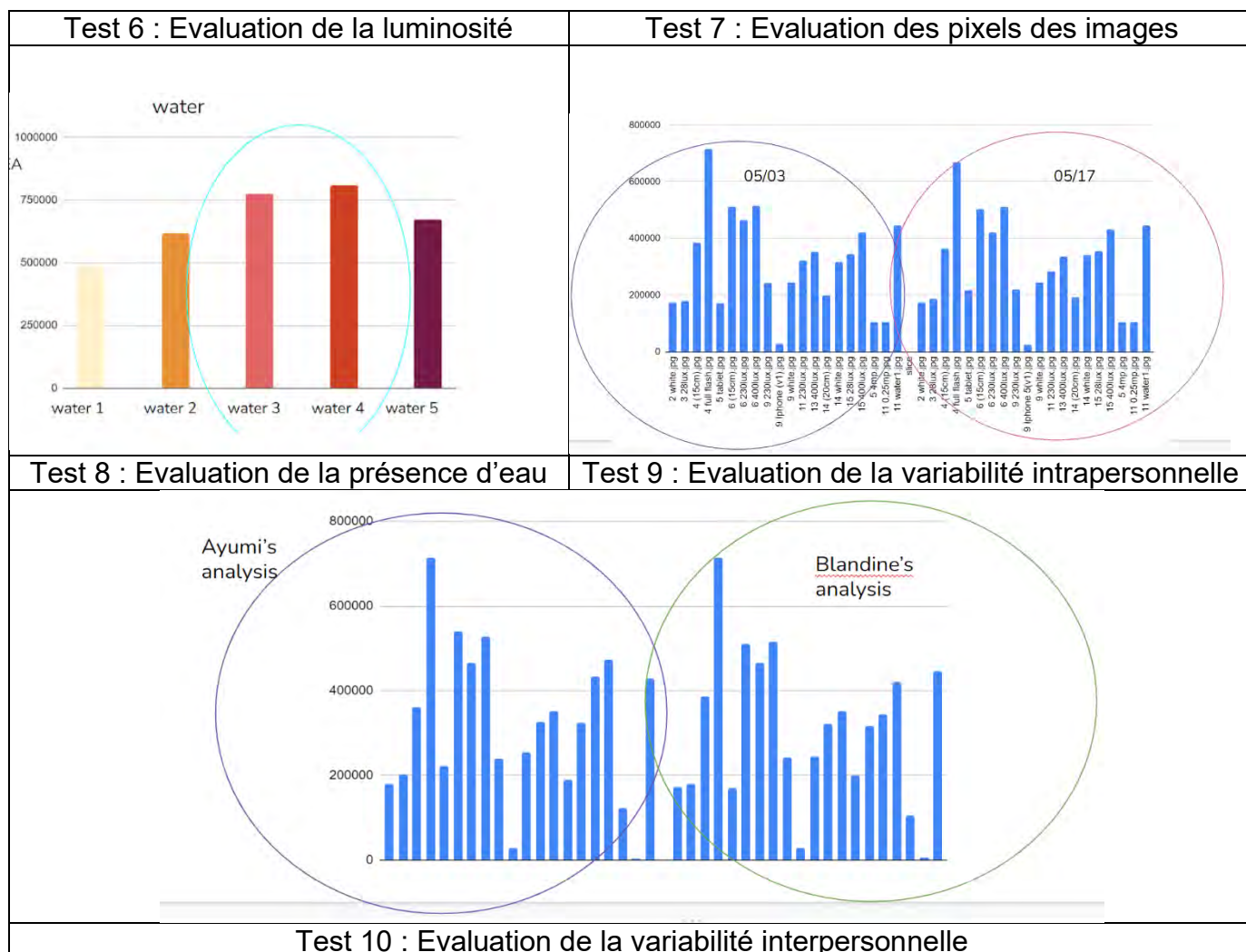


Figure 32 : Ensemble des graphiques réalisés pour les tests 1 à 10 après application du T-test pour chacune des données. Avec chaque test, les conditions en abscisse et les valeurs de l'aire totale en ordonnée. *Source : Excel®*

A noter que nous avons également évalué la variabilité interpersonnelle et intrapersonnelle pour valider la réhabilitation de cette étude (test 9 et test 10)

Des photos sélectionnées préalablement ont été prises puis analysées à J0 puis à J+2 semaines pour valider la variabilité intrapersonnelle (test 9). Et ces mêmes photos ont été analysées par une seconde personne, pour valider la variabilité interpersonnelle (test 10).

Ensuite, à l'aide du logiciel SPSS®, nous avons effectué deux autres tests statistiques, le test de Wilcoxon et le test de Friedman, qui permettent respectivement de comparer deux données entre elles et trois données entre elles de manière statistiquement fiable. Suite à ces tests, on obtient un certain type de données telles que les quartiles, la médiane etc. La donnée qui nous intéresse le plus concerne la p-value. La p-value est un indicateur relatif à la probabilité d'obtenir toujours les mêmes résultats quand une étude est réalisée un nombre x de fois.

Cette donnée apporte des informations quant à la prédictibilité d'une étude et permet de montrer si des résultats sont significativement différents ou pas. Un résultat est considéré comme statistiquement fiable lorsque la p value est inférieure à 0,05. Si celle-ci est supérieure à 0.05, alors il n'y a pas de différence significative et donc le paramètre testé n'influe pas sur les résultats. Ces tests sont bien plus fiables et plus précis que le T-test.

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4 + Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
p-value	1	1	00.40	00.40	1	1	00.40	1	0.564
Résultat	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif	Pas significatif

Figure 33 : Tableau représentatif des p-value du nombre de pièces pour les différents paramètres testés

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4 + Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9	Test 10
p-value	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	1.57
Résultat	Pas significatif	Significatif	Significatif	Significatif	Significatif	Significatif	Significatif	Pas significatif	Pas significatif

Figure 34 : Tableau représentatif des p-value de l'aire totale pour les différents paramètres testés

Les résultats de l'analyse statistique ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives quel que soient les paramètres testés sur le nombre de pièces. La valeur de la p-value est toujours supérieure à 0.05. (Cf. Figure 33)

Ils montrent également qu'il n'y avait pas de différences significatives pendant les différentes conditions de flash (p-value : 0.069), d'analyse intrapersonnelle (p-value : 0.225) et d'analyse interpersonnelle (p-value 1.57).

Par contre, on note des différences significatives concernant l'évaluation statistique des paramètres de hauteur de prise photographique, de fond, de type de caméra et de zoom, de luminosité, de type de pixels de la photographie et de la présence d'eau dans les échantillons (p-value : 0.000). (Cf. Figure 34)

E. Analyse et discussion

La fonction de mastication est un aspect important de la santé générale et du bien-être social (3). Nous avons récemment montré que la fonction de mastication est un facteur mécanique et physiologique important dans le processus de déglutition, les processus physiologiques/pathologiques du tractus gastro-intestinal (TGI) et les facteurs liés à la nutrition (5). La prévalence des troubles de la mastication et de la déglutition varie en fonction de la maladie et du groupe d'âge (4), il est donc difficile de déterminer leur véritable prévalence. Selon une méta-analyse récente, 23 % des adultes âgés ont des difficultés de mastication (6). Une estimation prudente suggère également que la dysphagie seule pourrait atteindre 22 % chez les adultes de plus de 50 ans et 30 % chez les personnes âgées recevant un traitement médical en milieu hospitalier. Ces chiffres sont encore accentués jusqu'à 68 % pour les résidents des établissements de soins de longue durée. La dysphagie et la malnutrition sont courantes chez les personnes âgées et les problèmes de mastication peuvent encore aggraver ces problèmes (7).

Par conséquent, l'identification précoce des personnes à risque de dysfonctionnement masticatoire peut prévenir les problèmes de déglutition, la malnutrition, la fragilité et les maladies de longue durée, en particulier chez les personnes âgées. À cet égard, plusieurs tests de la fonction masticatoire sont développés. Cependant, il a récemment été suggéré que l'aliment test viscoélastique dur est un meilleur indicateur de la performance masticatoire (1, 2). Mais on suppose que la quantification de la fonction masticatoire à l'aide d'un aliment viscoélastique dur peut être influencée par plusieurs facteurs. L'objectif de cette étude était donc d'étudier l'effet de différentes conditions sur l'évaluation d'un test de performance masticatoire basé sur la fragmentation des aliments et de standardiser les conditions pour une meilleure évaluation de la fonction masticatoire.

Les résultats de l'étude ont principalement montré que le nombre de morceaux ne diffère pas en raison des différentes conditions expérimentales.

Les résultats ont également montré qu'il n'y a pas de différence significative entre le nombre de morceaux et la surface totale de l'expérience, que le flash mobile ait été utilisé ou non dans les deux conditions où l'aliment testé était entier ou séparé.

Cependant, il était plus facile d'analyser les photos avec le flash. Sans le flash, il était nécessaire de modifier manuellement les paramètres colorimétriques sur ImageJ® pour obtenir la surface totale la plus fiable.

De plus, en ce qui concerne la variabilité inter et intrapersonnelle des examinateurs, il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les examinateurs et le temps. Par conséquent, notre étude est reproductible.

Cependant, la surface totale a été significativement affectée par des changements concernant la distance à laquelle les photos ont été prises, le fond, le

type d'appareil photo, le zoom, la luminosité, les pixels et la présence d'eau. Pour chaque photo, il y a une différence significative dans la surface totale.

A savoir, une photo prise à 15 cm de l'objectif, sur fond noir, avec la caméra macro d'un iPhone dans une pièce lumineuse, en l'absence d'eau et analysée avec une résolution de 4 MP s'avère être la photo ayant la plus grande surface totale et donc la photo la plus fidèle au résultat attendu.

De plus, nous constatons que les photos prises lors du premier test nous ont permis de valider la reproductibilité de notre étude car la surface totale a augmenté proportionnellement au nombre de pièces.

Cependant, la quantification de la surface totale présente certaines limites. La surface totale étant effectivement influencée par les différentes conditions expérimentales, il est souvent difficile de déterminer sa véritable fiabilité.

L'autre question concerne la standardisation de certains paramètres tels que le type d'appareil photo ou l'environnement lumineux.

En effet, si la distance de prise de vue, l'arrière-plan, le flash, le zoom, la résolution et l'eau sont des éléments relativement contrôlables, il est très difficile de standardiser des paramètres tels que le type d'appareil photo ou la lumière.

En effet, puisque l'objectif est de créer une application que chaque dentiste pourrait utiliser dans son cabinet pour évaluer les capacités de mastication d'un patient, nous ne pouvons pas prévoir quel type de téléphone il aura sur lui pour prendre la photo.

Il en va de même pour la lumière. Elle change constamment en fonction de la saison, du temps, de l'heure de la journée... Il est donc très difficile de standardiser le paramètre de la luminosité.

Concernant ce même paramètre, l'idée serait de l'uniformiser en utilisant une boîte dans laquelle les photos seraient prises afin qu'il y ait toujours la même luminosité.

F. Conclusion

Au final, les recommandations pour standardiser au maximum les paramètres qui peuvent influencer la prise de vue des aliments tests sont :

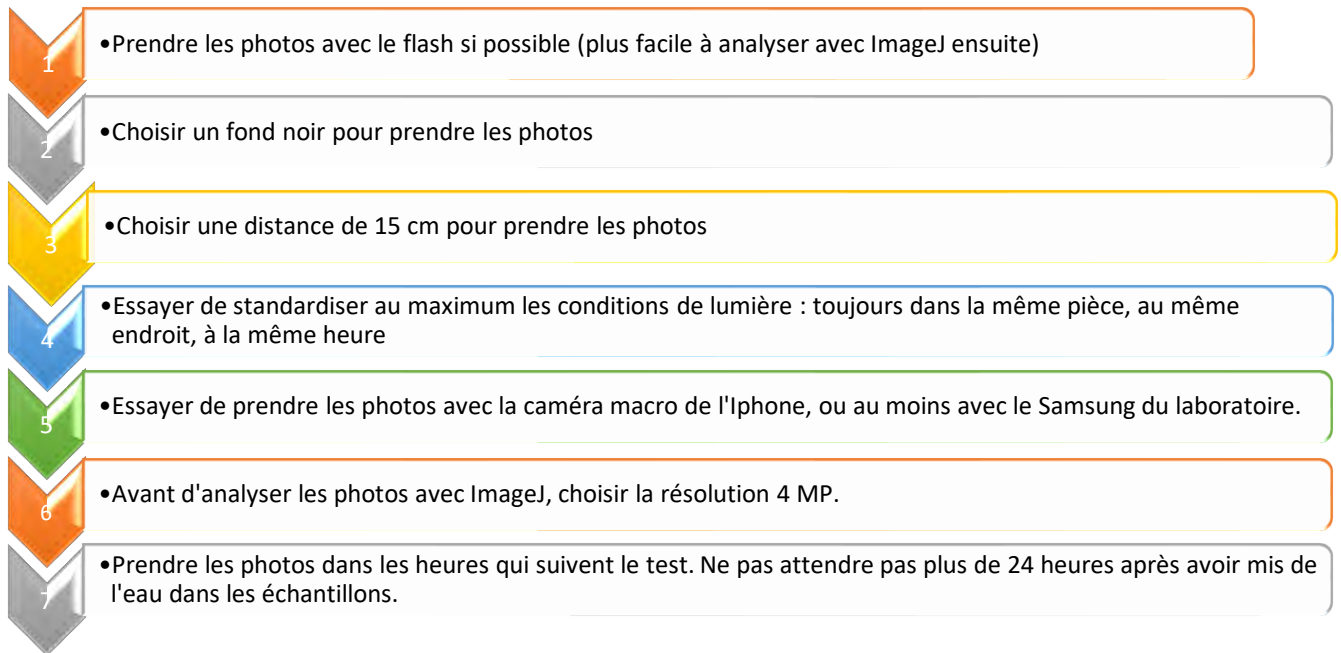


Figure 35 : Recommandations pour la prise de photographie pour l'analyse des aliments tests utilisés dans l'évaluation des performances masticatoires

Ainsi, après toute réhabilitation orale, il est important d'évaluer les capacités masticatoires, et notamment l'efficacité masticatoire des patients. Pour cela, nous avons évalué leur capacité à mâcher les aliments testés et à les couper en plusieurs morceaux. Le tout a ensuite été photographié et analysé via ImageJ®.

Cette étude a montré l'importance de standardiser un maximum de paramètres car ces mêmes paramètres peuvent influencer la prise de photo et donner des valeurs erronées. En effet, alors que le nombre de pièces était toujours le même, la surface totale des aliments testés variait complètement lorsqu'on jouait sur différents paramètres.

Ainsi, la distance à laquelle les photos ont été prises, le fond, le type d'appareil photo, le zoom, la luminosité, la résolution et la présence d'eau ont un impact direct sur la surface totale et donc sur l'analyse des capacités masticatoires des patients.

Il reste maintenant à essayer de standardiser au maximum le type d'appareil photo et la luminosité. (Cf. Figure 35).

G. Références

Abe, R., J. Furuya and T. Suzuki (2011). "Videoendoscopic measurement of food bolus formation for quantitative evaluation of masticatory function." Journal of prosthodontic research : 171-178.

(6) Abreu MHD, da Silva APL, Cavalcanti RVA, Cecilio Hallak Regalo S, Siéssere S, Gonçalves FM, et al. Prevalence of chewing difficulty in older people in long-term care : A systematic review and meta-analysis. *Gerodontology*. 2022.

(4) Almotairy, N., A. Kumar and A. Grigoriadis (2020). "Effect of food hardness on chewing behavior in children." Clin Oral Investig.

Carretero, D., A. Sanchez-Ayala, A. Rodriguez, M. O. Lagravere, T. M. S. V. Goncalves and R. C. M. R. Garcia (2011). "Relationship between non-ulcerative functional dyspepsia, occlusal pairs and masticatory performance in partially edentulous elderly persons." Gerodontology : 296-301.

Elgestad Stjernfeldt, P., P. Sjögren, I. Wårdh and A.-M. Boström (2019). "Systematic review of measurement properties of methods for objectively assessing masticatory performance." Clinical and Experimental Dental Research : 76-104.

Felício, C. M. d., G. A. d. Couto, C. L. P. Ferreira and W. Mestriner Junior (2008). "Reliability of masticatory efficiency with beads and correlation with the muscle activity." Pro-fono : revista de atualizacao cientifica : 225-230.

Flores-Orozco, E. I., G. E. Tiznado-Orozco, O. D. Osuna-Gonzalez, C. L. Amaro-Navarrete, B. Rovira-Lastra and J. Martinez-Gomis (2016). "Lack of relationship between masticatory performance and nutritional status in adults with natural dentition." Archives of oral biology: 117-121.

(3) Grigoriadis, A., R. S. Johansson and M. Trulsson (2011). "Adaptability of mastication in people with implant-supported bridges." J Clin Periodontol : 395-404.

Grigoriadis, A., R. S. Johansson and M. Trulsson (2014). "Temporal profile and amplitude of human masseter muscle activity is adapted to food properties during individual chewing cycles." J Oral Rehabil : 367-373.

Grigoriadis, A., A. Kumar, M. K. Åberg and M. Trulsson (2019). "Effect of Sudden Deprivation of Sensory Inputs From Periodontium on Mastication." Front Neurosci : 1316.

Grigoriadis, A. and M. Trulsson (2018). "Excitatory drive of masseter muscle during mastication with dental implants." Scientific Reports : 8597.

Grundy, M. M. L., T. Grassby, G. Mandalari, K. W. Waldron, P. J. Butterworth, S. E. Berry and P. R. Ellis (2015). "Effect of mastication on lipid bioaccessibility of almonds in a randomized human study and its implications for digestion kinetics, metabolizable energy, and postprandial lipemia." The American journal of clinical nutrition : 25-33.

(1) Homs G, Karlsson A, Almotairy N, Trulsson M, Kumar A, Grigoriadis A. Subjective and objective evaluation of masticatory function in patients with bimaxillary implant-supported prostheses. *J Oral Rehabil*. 2022.

(2) Homs G, Kumar A, Almotairy N, Wester E, Trulsson M, Grigoriadis A. Assessment of masticatory function in older individuals with bimaxillary implant-supported fixed prostheses or with a natural dentition : A case-control study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021.

Isabel, C. A. C., M. R. Moysés, A. van der Bilt, G. H. Gameiro, J. C. R. Ribeiro and L. J. Pereira (2015). "The relationship between masticatory and swallowing behaviors and body weight." *Physiology and Behavior* : 314-319.

(5) Kumar A, Almotairy N, Merzo JJ, Wendin K, Rothenberg E, Grigoriadis A, et al. Chewing and its influence on swallowing, gastrointestinal and nutrition-related factors: a systematic review. *CritRev Food Sci Nutr*. 2022 :1-31.

Leischker, A. H., G. F. Kolb and S. Felschen-Ludwig (2010). "Nutritional status, chewing function and vitamin deficiency in geriatric inpatients." *European Geriatric Medicine* : 207-212.

Peyron, M., C. Lassauzay and A. Woda (2002). "Effects of increased hardness on jaw movement and muscle activity during chewing of visco-elastic model foods." *Experimental Brain Research* : 41-51.

Peyron, M. A., O. Blanc, J. P. Lund and A. Woda (2004). "Influence of age on adaptability of human mastication." *Journal of Neurophysiology* : 773-779.

Pocztaruk, R. d. L., L. C. d. F. Frasca, E. G. Rivaldo, E. d. L. Fernandes and M. B. D. Gavião (2008). "Protocol for production of a chewable material for masticatory function tests (Optocal - Brazilian version)." *Brazilian Oral Research* : 305-310.

Ravosa, M. J., J. E. Scott, K. R. McAbee, A. J. Veit and A. L. Fling (2015). "Chewed out : an experimental link between food material properties and repetitive loading of the masticatory apparatus in mammals." *PeerJ* : e1345-e1345.

Sanchez-Ayala, A., N. H. Campanha and R. C. M. R. Garcia (2013). "Relationship between body fat and masticatory function." *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* : 120-125.

Sánchez-Ayala, A., A. Farias-Neto, L. S. Vilanova, M. A. Costa, A. C. Paiva, F. Carreiro Ada and W. Mestriner-Junior (2016). "Reproducibility, Reliability, and Validity of Fuchsin-Based Beads for the Evaluation of Masticatory Performance." *J Prosthodont* : 446-452.

Sierpinska, T., M. Golebiewska, J. W. Dlugosz, A. Kemonia and W. Laszewicz (2007). "Connection between masticatory efficiency and pathomorphologic changes in gastric mucosa." *Quintessence International* : 31-37.

Speksnijder, C. M., J. H. Abbink, H. W. van der Glas, N. G. Janssen and A. van der Bilt (2009). "Mixing ability test compared with a comminution test in persons with normal and compromised masticatory performance." Eur J Oral Sci : 580-586.

(7) Tagliaferri S, Lauretani F, Pelá G, Meschi T, Maggio M. The risk of dysphagia is associated with malnutrition and poor functional outcomes in a large population of outpatient older individuals. Clin Nutr. 2019 ;38 :2684-9.

Van der Bilt, A., J. Mojet, F. A. Tekamp and J. H. Abbink (2010). "Comparing masticatory performance and mixing ability." J Oral Rehabil : 79-84.

Wallace, S., S. Samietz, M. Abbas, G. McKenna, J. V. Woodside and M. Schimmel (2018). "Impact of prosthodontic rehabilitation on the masticatory performance of partially dentate older patients : Can it predict nutritional state ? Results from a RCT." Journal of dentistry : 66-71.

Woda, A., K. Foster, A. Mishellany and M. A. Peyron (2006). "Adaptation of healthy mastication to factors pertaining to the individual or to the food." Physiol Behav : 28-35.

Woda, A., A. Mishellany and M. A. Peyron (2006). "The regulation of masticatory function and food bolus formation." J Oral Rehabil : 840-849.

VI. Améliorer les performances masticatoires, l'objectif de demain

Il est donc aujourd'hui, primordial en tant que praticien, d'évaluer la fonction et notamment les performances masticatoires d'un patient après la pose de prothèses sur implant.

Il faut néanmoins attendre la réalisation et les résultats d'autres études portant sur ce même thème afin de donner plus de poids à notre étude. Ainsi, si ces études s'avèrent être reproductibles et concluantes, il y aurait là alors un rôle à jouer pour les fabricants d'implants qui devraient apporter plus d'importance à la structure et aux propriétés mécaniques de l'implant afin qu'ils soient plus adaptés aux contraintes masticatoires.

A. Développement d'une application permettant d'analyser les performances masticatoires au cabinet

Aujourd'hui, notre équipe, en collaboration avec une équipe d'ingénieurs est en train d'élaborer une application à partir du logiciel Apeer®. Cette application serait capable d'analyser les capacités masticatoires et de déglutition du patient. On prendrait en photo de manière standardisée un aliment test ainsi qu'un chewing-gum mastiqué par le patient. Cette photographie serait par la suite directement transmise à cette nouvelle application. Cette application évaluerait l'aire totale, le nombre de morceaux séparés de l'aliment test et le coefficient de mixabilité pour du chewing-gum bicolore.

Cette application est aujourd'hui en train d'être développée via une banque d'images standardisées d'aliments tests mastiqués artificiellement (découpés comme lors de mon étude in vitro) et de chewing-gums bicolores. (81) Ainsi avec un grand nombre de données, l'application sera en mesure de mieux prédire le type de résultat et nous serions en mesure de dire si le patient présente ou non de bonnes propriétés masticatoires.

Après l'analyse par l'application, les ingénieurs pensaient à faire apparaître un petit smiley souriant ou non, et en fonction, un protocole de rééducation adapté serait alors proposé au patient.

Cette application n'est encore qu'un prototype et nécessite de nombreux réajustements mais c'est une perspective très réjouissante pour l'avenir des cabinets dentaires quant à l'évaluation des performances masticatoires.

B.Exercices de rééducation

Il est donc primordial d'accompagner le patient dans les processus d'apprentissage masticatoires après la pose de leur nouvel appareil. Beaucoup de patient disent se sentir confortables après la pose de leur prothèse dentaire sur implants, néanmoins si on s'attarde vraiment à évaluer leurs performances masticatoires on observe que dans la majorité des cas, celles-ci sont diminuées, ce qui a de véritables conséquences sur leur qualité de vie avec un risque de développement à terme de troubles cognitifs. Il faut donc pour chaque patient proposer un protocole de rééducation. (87) (88)

- Rééducation myo-articulaire : exercices de kinésithérapie myo-faciale :

Dans certaines situations, il peut être intéressant de prescrire des séances de kinésithérapie myo-faciale notamment chez les personnes qui étaient entièrement édentées et qui ont par conséquent eu une atrophie osseuse et musculaire.

La kinésithérapie myo-faciale va permettre de travailler les mouvements de cinématiques mandibulaires et ainsi d'améliorer les contacts dentaires, mais aussi de favoriser le bon fonctionnement des muscles masticateurs par le biais de différents exercices de mastication parmi lesquels on retrouve des exercices de musculation isométriques (contraction volontaire d'un muscle sans produire de mouvements), des exercices de mobilité et des massages (cf annexe).

C.Développement d'une application de jeu

Le fonctionnement de cette application est décrit au travers de l'article « *Motor Performance and Skill Acquisition in Oral Motor Training With Exergames: A Pilot Study* ». (cf Figure 36). (89)

Une paire d'électrodes électromyographiques (EMG) a été placée sur les muscles masséters des participants. Le dispositif EMG communiquait par Bluetooth avec un jeu vidéo mobile ((OTPlanes®, OT Bioelettronica®) en réponse à l'activité électromyographique des muscles masséters lors du serrage des dents. Au cours de la session expérimentale, les participants ont été invités à jouer à un jeu vidéo en cinq blocs de 5 minutes chacun avec une pause de 3 minutes entre chaque bloc de temps.

Le but du jeu était de déplacer un avion et de collecter autant de pièces (points de jeu) que possible tout en esquivant les obstacles en serrant plus ou moins fort les dents. La performance motrice était évaluée par les scores de performance et le nombre de vies de jeu. L'acquisition de compétences a été mesurée par l'efficacité de la tâche (rapport des scores de performance et le nombre de vies de jeu) dans des blocs de temps.

Ce jeu permet de réguler les troubles de la mastication mais aussi d'améliorer les performances masticatories en proposant aux patients des exercices de renforcement des muscles masticateurs.

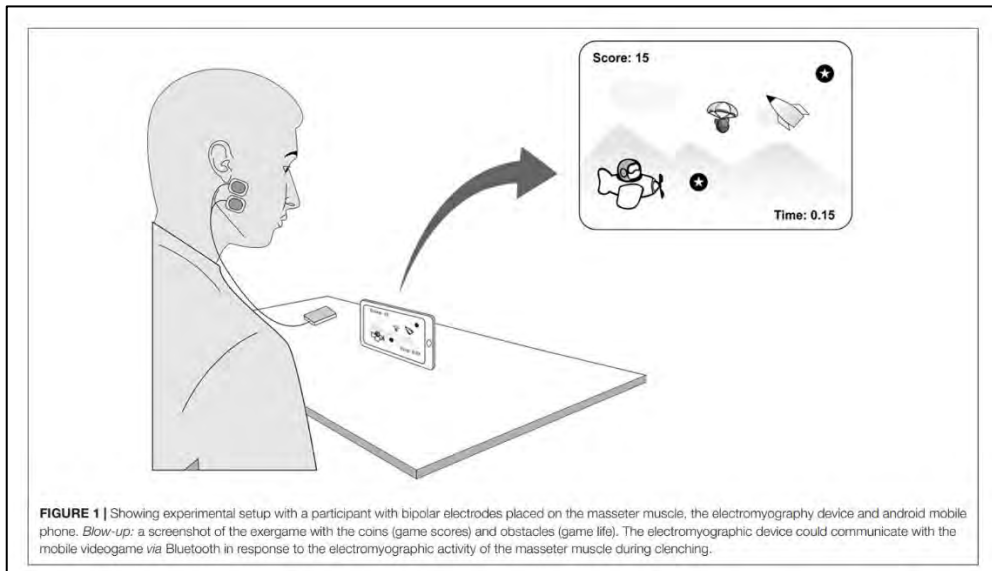


Figure 36 : jeu développé pour améliorer les performances masticatories. *Source* : *Motor Performance and Skill Acquisition in Oral Motor Training With Exergames*.

D. Réapprendre à manger : les différentes facettes de la mastication et l'environnement qu'il y a autour

D'une part, lorsque le patient est complètement ou presque complètement édenté et qu'il porte un nouvel appareil sur implant, il doit réapprendre à manger. Il faut le pousser à utiliser ses différents sens : la vue, l'odorat, le toucher (cf annexe) afin de stimuler un maximum de zones cérébrales activant alors la mastication et stimulant la plasticité cérébrale.

D'autre part, il faut aussi pousser le patient à jouer sur le travail des textures. Il doit manger des aliments durs, plus mous, crus, jouer sur les cuissons etc. afin de stimuler l'ensemble des composants indispensables à la mastication.

Il faut prendre le temps de mastiquer, de ressentir chaque élément en bouche.

Il faut apprécier la mastication. Cela va stimuler d'autant plus les connexions neuronales et favoriser le bon fonctionnement de l'ensemble des acteurs de la mastication.

Il faut rendre la mastication ludique et prenante en variant les saveurs, les formes, les textures. Il faut s'interroger sur celles-ci.

Le patient doit dédier un véritable moment au repas en s'entourant de ses proches. C'est dans une globalité que le patient s'adaptera le mieux à ses prothèses. Il doit certes réaliser de temps en temps certains exercices de mastication

à certain moment de la journée, mais il doit surtout apprendre à vivre au quotidien avec en diversifiant ses repas et en faisant de ceux-ci un moment agréable et partagé afin de stimuler au maximum les différents acteurs de la mastication tels que l'ATM, les muscles mais aussi les aires cérébrales. Il doit mastiquer en toute conscience. (90)

Son adaptation à ce nouvel appareil en serait d'autant meilleure et le patient améliorerait ainsi ses différentes fonctions physiologiques. Il aurait moins de troubles de digestion, de problèmes de malnutrition mais aussi moins de risque de développer des troubles cognitifs et sociaux. On aurait donc alors une amélioration de la qualité de vie générale du patient et une diminution de la morbidité.

Conclusion

Les récepteurs parodontaux sont indispensables au bon fonctionnement de la mastication. (49) Ils donnent des informations sensibles, temporelles et spatiales sur l'état et la situation des aliments en bouche. Quand un patient est porteur de prothèses dentaires sur implants, il existe une perturbation des forces de morsure utilisées pour maintenir et manipuler les morceaux de nourriture entre les dents.

En effet, de récentes études (29) (30) ont montré que bien que les implants permettent de rétablir une bonne restauration anatomique, ils ne parviennent toujours pas à restaurer correctement la fonction masticatoire car sans ces récepteurs, il y a une modification de la motricité fine.

De nombreux travaux démontrent que pendant la mastication chez l'homme, les récepteurs parodontaux signalent des informations détaillées concernant la direction et le point d'attaque des forces de mastication qui peuvent être utilisées par le système nerveux central pour adapter les forces de morsure à la forme et à l'emplacement de l'aliment en bouche. (29) (30)

L'importance d'informations sensorielles appropriées de ce type est clairement démontrée par le fait que les personnes porteuses d'une prothèse bimaxillaire fixe supportée par des implants présentent des difficultés évidentes à accomplir la tâche consistant à séparer en deux de manière égale avec les dents de devant un bonbon sphérique, à cisailer correctement des aliments en plusieurs fines particules, et à mélanger correctement un aliment, là où les patients présentant des dents naturelles peuvent le faire.

Les sujets ne présentant pas de récepteurs desmodontaux n'ont pas de contrôle moteur fin et ils présentent donc une adaptation altérée de l'activité musculaire à la dureté des aliments. (29) (30)

Notons cependant que les personnes avec des implants s'appuient sur les informations sensorielles fournies par d'autres mécanorécepteurs (peau, lèvres, langue ...) et par les vibrations fournies de l'implant à l'os alvéolaire sous-jacent. On appelle cela le phénomène d'ostéoperception. (29) (30)

Il faut néanmoins, dans un avenir proche, favoriser le réapprentissage sensorimoteur chez les patients recevant des implants dentaires dans le but d'améliorer leur fonction masticatoire car l'entraînement à court terme avec fractionnements répétés de morceaux de nourriture augmentent la précision de l'exécution de la tâche et optimisent les mouvements de la mâchoire. Ainsi, cela implique une optimisation dans l'enchaînement des phases de mastication.

Le réapprentissage sensorimoteur est important en réhabilitation : il s'agit d'améliorer par la pratique et la performance des comportements moteurs sensoriels. Il serait donc intéressant d'évaluer comment la rééducation influence les mécanismes sensori-moteurs, le réapprentissage et l'adaptation des forces après altération de l'environnement oral. (29) (30) (91)

Notons également qu'aujourd'hui, l'évaluation est subjective, elle dépend de chaque patient et repose sur l'expérience des cliniciens en raison d'un manque d'indicateur objectifs.

Le but est donc à long terme de développer des indicateurs cliniques de rééducation optimale et d'améliorer la motricité orale des patients grâce à différents protocoles de rééducation.

Vu Le Président du Jury

Dr DIEMER Franck



Vu Le Directeur de thèse

Dr ESCLASSAN Rémi



Vu Le Co-directeur de thèse

Dr KUMAR Abhishek (Stockholm)



BIBLIOGRAPHIE

- (1) Kim, H.E. Lee, H. Factors affecting subjective and objective masticatory function in older adults : Importance of an integrated approach. *Journal of Dentistry*. (2021). 25-35.
- (2) Leischker, A.H. Kolb, G. Nutritional status, chewing function and vitamin deficiency in geriatric in patients. *European Geriatric Medicine*. (2010). 207-212.
- (3) Espérance de vie – Mortalité – Tableaux de l'économie française. (n.d.).(2021) From Insee.fr.
- (4) Foster, J. R. Successful coping, adaptation and resilience in the elderly : an interpretation of epidemiologic data. *The Psychiatric Quarterly*. (1997). 10-25.
- (5) Chapple, I. L. C., Mealey, B. L., Van Dyke, T. E. Periodontal health and gingival diseases and conditions on an intact and a reduced periodontium : Consensus report of workgroup 1 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of Clinical*. (2018). 48-76
- (6) Thomas, A. J. Dietetics, aging and oral health. *Revue belge de médecine dentaire*. (1987). 10-15.
- (7) Guillaume, B. Dental implants : A review. *Journal of Dentistry*. (2016), 21-23
- (8) Bru, V. Rééducation : Post Chirurgie et traumatisme. *MyFrenchPhysio*. (2017). From <https://myfrenchphysio.london/fr/reeducation-post-chirurgie-trauma/>
- (9) Flores-Orozco, E. I., Tiznado-Orozco, G. E., Osuna-González, O. D., Amaro-Navarrete. Lack of relationship between masticatory performance and nutritional status in adults with natural dentition. *Archives of Oral Biology*. (2016) 12-28
- (10) Le programme Erasmus+. (n.d.). Ministère de l'Education Nationale et de la Jeunesse. From <https://www.education.gouv.fr/le-programme-erasmus-9890>
- (11) Karolinska Institutet : Karolinska Institutet Alumni, Karolinska Institutet Faculty. (2011). From https://en.wikipedia.org/wiki/Karolinska_Institute
- (12) Bates JF, Stafford GD, Harrison A. Masticatory function, a review of the literature. *J Oral Rehabil*. (1976). 57-67.
- (13) Boileau M-J, Sampeur-Tarrit C, Bazert C. Physiologie et physiopathologie de la mastication. *EMC Stomatol*. (2006) 22-8-1-15.
- (14) Bremer F. Physiologie nerveuse de la mastication chez le chat et le lapin. Reflexes de mastication. Réponses masticatrices corticales et centre cortical du goût. *Archives Internationales de Physiologie*. (1932). 308-52.
- (15) Bailey RL, Ledikwe JH, Smiciklas-Wright H, Jensen GL. Persistent oral health problems associated with comorbidity and impaired diet quality in older adults. *J Am Diet Assoc*. (2004) ; 104(8) : 1273-6.
- (16) Ahlgren J. Masticatory movements in man. *Mastication : Symposium proceedings*.

ButterworthHeinemann ; (1976). p. 119-30

(17) Bedrossian, E. A., Bedrossian, E., Kois, J. C., & Revilla-León, M. Use an optical jaw-tracking system to record mandibular motion for treatment planning and designing interim and definitive prostheses: A dental technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. (2022). 35-48

(18) Graber TM. Advances in occlusion. *Am J Orthod*. (1982) ; 82(6) :522.

(19) Schimmel M, Katsoulis J, Genton L, Müller F. Fonction masticatoire et alimentation de la personne âgée. *Swiss Dent J SS0*. (2015) ; 125(4) : 533-9.

(20) Martin, B. J. Muscles of mastication as they relate to oral physiology. Part I--Anatomy and physiology. *The Arkansas Dental Journal*, (1981). 52(2), 16–18.

(21) Uyeno, T. A., & Clark, A. J. Muscle articulations : Flexible jaw joints made of softs tissu. *Integrative and Comparative Biology*, (2015).55(2), 193 204.

(22) Fregosi, R. F., & Ludlow, C. L. Activation of upper airway muscles during breathing and swallowing. *Journal of Applied Physiology*, (2014)116(3), 291–301.

(23) Westbrook, K. E., Nessel, T. A., Hohman, M. H., & Varacallo, M. Anatomy, Head and Neck, Facial Muscles. *StatPearls Publishing* (2022). 35-42.

(24) Oda A, Fontenelle A. Physiologie de l'appareil manducateur. *Orthopédie dento-faciale*. Paris ; (1993). 167-229.

(25) Scutariu, M. D., & Indrei, A. Temporo-mandibular joint. Morpho-functional considerations. *Revista medico-chirurgicala a Societatii de Medici si Naturalisti din Iasi*, (2004).108(1), 51–55.

(26) Kumar, A., Kothari, M., Grigoriadis, A., Trulsson, M., & Svensson, P. Bite or brain: Implication of sensorimotor regulation and neuroplasticity in oral rehabilitation procedures. *Journal of Oral Rehabilitation*, (2018). 45(4), 323–333. From <https://doi.org/10.1111/joor.12603>

(27) Bremer F. Physiologie nerveuse de la mastication chez le chat et le lapin. Reflexes de mastication. Réponses masticatrices corticales et centre cortical du goût. *Archives Internationales de Physiologie*. (1932). 308-52.

(28) Dellow PG, Lund JP. Evidence for central timing of rhythmical mastication. *J Physiol*. (1971) ; 215(1) : 1-13.

(29) Anastasios Grigoriadis ; Masticatory function in people with dental implants. Thèse *Karolinska Institutet, Sweden*. (2014). From <https://openarchive.ki.se/xmlui/handle/10616/42051>

(30) Joannis Grigoriadis ; spatial control of biting behavior – To bite and not to slip. Thèse *Karolinska Institutet, Sweden*. (2016). From <https://openarchive.ki.se/xmlui/handle/10616/45322>

(31) Yamada Y, Yamamura K, Inoue M. Coordination of cranial motoneurons during mastication. *Respir Physiol Neurobiol*. (2005) ; 147(2-3) : 177-89

(32) Hakkinen K., Alen M., Kallinen M., et al. Neuromuscular adaptation during prolonged

strength training, detraining and restrengthening in middle-aged and elderly people. *Eur J Appl Physiol.* (2000) ; (83) :51-62.

(33) Guichard E, Voilley A, Genot C. Texture et flaveur des aliments : vers une conception maîtrisée. *Educagri éditions* ; (2012). 298 p.

(34) Peyron M-A, Blanc O, Lund JP, Woda A. Influence of age on adaptability of human mastication. *J Neurophysiol.* (2004) ; 92(2) : 773-9.

(35) Fondard F, Corne C, Etienne JC. Les enjeux de la prévention en matière de santé. Paris : Conseil économique, social et environnemental, *Journal officiel*, (2012). From <https://www.vie-publique.fr/rapport/32388-les-enjeux-de-la-prevention-en-matiere-de-sante>

(36) Hall G, Wendin K. Sensory design of foods for the elderly. *Ann Nutr Metab.* (2008) ; 52 (Suppl 1) : 25-8.

(37) Proctor DN, Balagopal P, Nair KS. Age-related sarcopenia in humans is associated with reduced synthetic rates of specific muscle proteins. *J Nutr.* (1998) ; 128(2 Suppl) : 351S-355S.

(38) Wong D. T. Salivary diagnostics. *Wiley-Blackwell* ; (2008). 320

(39) Steele CM, Alsanei WA, Ayanikalath S, et al. The influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function. A systematic review. *Dysphagia.* (2015) ; 30(1) : 2-26.

(40) Zafra MA, Molina F, Puerto A. The neural/cephalic phase reflexes in the physiology of nutrition. *Neurosci Biobehav Rev.* (2006) ; 30(7) : 1032-44.

(41) Wu B, Plassman BL, Crout RJ, Liang J. Cognitive function and oral health among communitydwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* (2008) ; 63(5) : 495-5

(42) Weijenberg R. Mastication and oral health in elderly persons with dementia - The relationship with cognition and quality of life. Thèse : *Université d'Amsterdam - Faculté de Psychologie et pédagogie.* (2013).

(43) Séguier S, Bodineau A, Giacobbi A, et al. Pathologies bucco-dentaires du sujet âgé : répercussions sur la nutrition et la qualité de vie. *Commission de Santé Publique* ; (2009). From http://psa.auvergne.free.fr/news/_51/telechargement/pathologie_sujet_agees.pdf

(44) Scherder E, Posthuma W, Bakker T, et al. Functional status of masticatory system, executive function and episodic memory in older persons. *J Oral Rehabil.* (2008) ; 35(5) : 324-36.

(45) Okamoto N, Morikawa M, Okamoto K, et al. Relationship of tooth loss to mild memory impairment and cognitive impairment : findings from the Fujiwara-kyo study. *Behav Brain Funct.* (2010) ; 6(77) : 6-77.

(46) Santé parodontale et maladies et affections gingivales sur un parodontium intact et réduit : Rapport consensuel du groupe de travail 1 de l'Atelier mondial 2017 sur la classification des maladies et des affections parodontales et péri-implantaires. From https://www.cneparo.fr/phocadownload/Actualites_paro/traduction%20chapple%20cnep%2004.04.2019.pdf

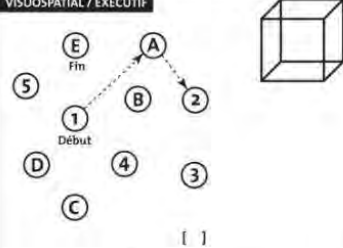
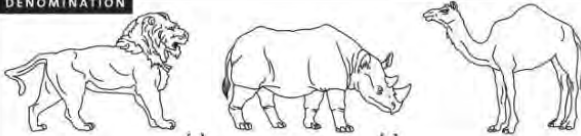
- (47) The community periodontal index of treatment needs (CPITN) procedure for population groups and individuals. *International Dental Journal*. (1987) ; 37(4) : 222-33.
- (48) Chetboun, C., Hassine, A., Carra, M. C., Mrejen, S., Nghiem-Buffer, S., & Cohen, S.-Y. Association entre la dégénérescence maculaire liée à l'âge et les parodontites. *Journal français d'ophtalmologie*, (2021). 44(8), 1142–1147
- (49) Trulsson, M. Sensory-motor function of human periodontal mechanoreceptors. *Journal of Oral Rehabilitation*. (2006). 33(4), 262–273.
- (50) Planas P. Réhabilitation neuro-occlusale. *R.N.O. 2ème édition. Masson* ; (2006). 289
- (51) Okamoto N, Morikawa M, Okamoto K, et al. Relationship of tooth loss to mild memory impairment and cognitive impairment: findings, *the Fujiwara-kyo study*. *Behav Brain Funct*. (2010) ; 6(77) : 6-77.
- (52) Hoogmartens MJ, Caubergh MA. Chewing side preference during the first chewing cycle as a new type of lateral preference in man. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. (1987) ; 27(1) : 3-6.
- (53) Krall E, Hayes C, Garcia R. How dentition status and masticatory function affect nutrient intake. *J Am Dent Assoc*. (1998) ; 129(9) : 1261-9.
- (54) Koufos, E. B., Avila, H. C., Eckert, G., Stewart, K. T., Kroenke, K., & Turkkahraman, H. The TMD-7 as a brief measure for assessing temporomandibular disorder. *European Journal of Dentistry*. (2022). 16(9):606-13
- (55) cours du Docteur DESTRUHAUT Florent, 5^{ème} année de chirurgie dentaire : les désordres temporo mandibulaires. (2021)
- (56) La mastication et ses troubles. (2015). From <https://www.reseau-lucioles.org/la-mastication-et-ses-troubles/>
- (57) Tubert-Jeannin S, Riordan PJ, Morel-Papernot A, et al. Validation of an oral health quality of life index (GOHAI) in France. *Community Dent Oral Epidemiol*. (2003) ; 31(4) : 275-84.
- (58) Scholey A, Haskell C, Robertson B, et al. Chewing gum alleviates negative mood and reduces cortisol during acute laboratory psychological stress. *Physiol Behav*. (2009) ; 97(3-4) : 304-12.
- (59) Rosenvinge SK, Starke ID. Improving care for patients with dysphagia. *Age Ageing*. (2005) ; 34(6) : 587-93.
- (60) Prinz J.F., Lucas P.W. An optimization model for mastication and swallowing in mammals. *Proc R Soc Lond B*. (1997) ; 264 : 1715-21.
- (61) Peyron M-A, Veyrune J-L, Woda A. Alimentation des séniors, comprendre le rôle de la mastication. *Innov Agron*. (2013) ; 33 : 93-103.
- (62) Peyron MA, Woda A. Adaptation de la mastication aux propriétés mécaniques des aliments. *Rev Orthop Dento Faciale*. (2001) ; 35(3) : 405-20
- (63) Nizel AE. Nutrition in preventive dentistry, science and practice. *W. B. Saunders Co.* ; (1980). P 532

- (64) Millwood J, Heath MR. Food choice by older people : the use of semi-structured interviews with open and closed questions. *Gerodontology*. (2000) ; 17(1) : 25-32.
- (65) Lorenzo T. Approche écosystémique des troubles de la déglutition du sujet âgé en EHPAD : création d'un outil d'audit orthophonique. Thèse *Ecole d'orthophonie de Toulouse* ; (2014).
- (66) Aubry A, Constans T, Daiel-Lamazière MD, et al. Stratégie de prise en charge en cas de dénutrition protéino-énergétique chez la personne âgée. *Haute Autorité de Santé* ; (2007), p. 4
- (67) Bodic F, Hamel L, Lerouxel E, et al. Perte osseuse et dents. *Rev Rhum*. (2005) ; 72(5) : 397-403.
- (68) Champion J. Cours de 3^{ème} année de chirurgie dentaire ; Toulouse. (2019)
- (69) Hennequin A, Galibourg A. Cours d'implantologie de 5^{ème} année de chirurgie dentaire ; Toulouse. (2021)
- (70) Elgestad Stjernfeldt, P., Sjögren, P., Wårdh, I., & Boström, A.-M. Systematic review of measurement properties of methods for objectively assessing masticatory performance. *Clinical and Experimental Dental Research*. (2019). 5(1), 76–104.
- (71) Al-Omiri MK, Karasneh J. Relationship between oral health-related quality of life, satisfaction and personality in patients with prosthetic rehabilitations. *J Prosthodont*. (2010) ;19(1) :2-9.
- (72) Lam P, Cichero J, Chen J, et al. Detailed description, testing methods and evidence - Food : levels 3-7. *I.D.D.S.I.* ; (2016), 32(2) :293-314
- (73) Hatch JP, Shinkai RS, Sakai S, et al. Determinants of masticatory performance in dentate adults. *Arch Oral Biol*. (2001) ; 46(7) : 641-8.
- (74) Dahlberg B. The masticatory effect : A new test and analysis of mastication in more or less defective sets of teeth. *Vol. 139. Suède : Lund : H. Ohlssons boktryck*; (1942). 155 p.
- (75) Bourdiol P, Mioche L. Correlations between functional and occlusal tooth-surface areas and food texture during natural chewing sequences in humans. *Arch Oral Biol*. (2000) ; 45(8) : 691-9.
- (76) Dellow PG, Lund JP. Evidence for central timing of rhythmical mastication. *J Physiol*. (1971) ; 215(1) : 1-13.
- (77) Kordass B, Lucas C, Huetzen D, et al. Functional magnetic resonance imaging of brain activity during chewing and occlusion by natural teeth and occlusal splints. *Ann Anat*. (2007) ; 189(4) : 371-6.
- (78) Gibbs CH, Mahan PE, Lundeen HC, et al. Occlusal forces during chewing and swallowing as measured by sound transmission. *J Prosthet Dent*. (1981) ; 46(4) : 443-9
- (79) Loret C. Using sensory properties of food to trigger swallowing : A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. (2015) ; 55(1) : 140-5.

- (80) Schimmel, M., Christou, P., Miyazaki, H., Halazonetis, D., Herrmann, F. R., & Müller, F. A novel colourimetric technique to assess chewing function using two-coloured specimens: Validation and application. *Journal of Dentistry*. (2015). 43(8), 955–964.
- (81) Chawisa Thangjittiporn, Solaphat Hemrungron. The test of chewing efficiency by the two colored gum mixing ability and the viewGum Software. *RSU International Research Conference*. (2021). 373-382
- (82) Sánchez-Ayala, A., Vilanova, L. S. R., Costa, M. A., & Farias-Neto, A. Reproducibility of a silicone-based test food to masticatory performance evaluation by different sieve methods. *Brazilian Oral Research*. (2014). 28(1), 1–8.
- (83) van der Glas, H. W., Liu, T., Zhang, Y., Wang, X., & Chen, J. Optimizing a determination of chewing efficiency using a solid test food. *Journal of Texture Studies*. (2020). 51(1), 169–184.
- (84) Optozeta Khoury-Ribas, L., Ayuso-Montero, R., Rovira-Lastra, B., Peraire, M., & Martinez-Gomis, J. Reliability of a new test food to assess masticatory function. *Archives of Oral Biology*. (2018). 87, 1–6.
- (85) Fukuwatari T, Kawada T, Tsuruta M, et al. Expression of the putative membrane fatty acid transporter (FAT) in taste buds of the circumvallate papillae in rats. *FEBS Lett*. (1997) ; 414(2) : 461-4.
- (86) Sato, S., Fueki, K., Sato, H., Sueda, S., Shiozaki, T., Kato, M., & Ohyama, T. Validity and reliability of a newly developed method for evaluating masticatory function using discriminant analysis: VALIDITY AND RELIABILITY OF THE MIXING ABILITY TEST. *Journal of Oral Rehabilitation*. (2003). 30(2), 146–151.
- (87) Van Praag H. Exercise and the brain: something to chew on. *Trends Neurosci*. (2009) ; 32(5) : 283-90.
- (88) Denking MD, Nikolaus T, Denking C, Lukas A. Physical activity for the prevention of cognitive decline: current evidence from observational and controlled studies. *Z Für Gerontol Geriatr*. (2012) ; 45(1) : 11-6.
- (89) Kumar, Abhishek, Munirji, L., Nayif, S., Almotairy, N., Grigoriadis, J., Grigoriadis, A., & Trulsson, M. Motor performance and skill acquisition in oral motor training with exergames: A pilot study. *Frontiers in Aging Neuroscience*. (2022) 14, 730072.
- (90) Cormary X, Tannou Y. Mixer moins, manger mieux ! *Le Journal du Domicile*. (2014); From https://www.academia.edu/22104474/Mixer_moins_manger_mieux
- (91) Hee-Eun Kim, Haneul Lee, Factors affecting subjective and objective masticatory function in older adults : importance of an integrated approach. *Journal of Dentistry*. (2021). 103787

ANNEXES

1. Questionnaire MOCA :

VISUOSPATIAL / EXÉCUTIF  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Copier le cube Dessiner HORLOGE (11 h 10 min) (3 points) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	POINTS _/5
DÉNOMINATION  <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
MÉMOIRE Lire la liste de mots, le patient doit répéter. Faire 2 essais même si le 1er essai est réussi. Faire un rappel 5 min après. 1 ^{er} essai 2 ^{ème} essai	VISAGE VELOURS ÉGLISE MARGUERITE ROUGE	Pas de point _/3
ATTENTION Lire la série de chiffres (1 chiffre/sec.). Le patient doit la répéter. [] 2 1 8 5 4 Le patient doit la répéter à l'envers. [] 7 4 2		_/2
Lire la série de lettres. Le patient doit taper de la main à chaque lettre A. Pas de point si 2 erreurs. [] F B A C M N A A J K L B A F A K D E A A A J A M O F A A B		_/1
Soustraire série de 7 à partir de 100. [] 93 [] 86 [] 79 [] 72 [] 65 4 ou 5 soustractions correctes : 3 pts, 2 ou 3 correctes : 2 pts, 1 correcte : 1 pt, 0 correcte : 0 pt		_/3
LANGAGE Répéter: le colibri a déposé ses œufs sur le sable. [] L'argument de l'avocat les a convaincus. [] Fluidité de langage. Nommer un maximum de mots commençant par la lettre «F» en 1 min [] (N ≥ 11 mots)		_/2 _/1
ABSTRACTION Similitude entre ex: banane - orange = Fruit [] train - bicyclette [] montre - règle		_/2
RAPPEL Doit se souvenir des mots SANS INDICES Optionnel: indice de catégorie, indice choix multiples	VISAGE VELOURS ÉGLISE MARGUERITE ROUGE	Points pour rappel sans indices seulement _/5
ORIENTATION [] Date [] Mois [] Année [] Jour [] Endroit [] Ville		_/6
© Z. Nosroddine MD www.mocatest.org Normal ≥ 26 / 30		TOTAL _/30 Ajouter 1 point si scolarité ≤ 12 ans

2. Protocole de cuisine de l'aliment test (en anglais)

CANDY COOKING:

- Important:
 - o Keep everything clean at all times – disinfect all surfaces before starting, use gloves, put plastic all over the table.
 - o Prepare everything in time, and try to match it.

- Part 1:

1. Put water in the bigger pot (pot 0), put it on the stove. Put the thermometer in, until 80°.
2. Measure 48g water in a glass.
3. Measure 41.5g gelatin in another glass.
4. Measure 5g citric acid in a third glass.
5. Measure 10g water in a fourth glass.
6. Stir the citric acid (5g) and 10g of water in a glass until the citric acid is completely dissolved. Weight up 13g of that in a new glass.
7. Put the water (48g) and the water-citric acid-mix in the smaller pot (pot 1). Then put in the gelatin. Stir it properly.

8. Put pot 1 in pot 0 (the bigger pot with water), and put a plate over it.
9. In 30 minutes: stir thoroughly. Control the temp at all times, 80°.
10. In 30 minutes: stir thoroughly. Preferably with a new spoon.
11. In 30 minutes: stir thoroughly. Preferably with a new spoon.
12. Put a new alarm for 30 minutes. In 30 minutes, stir and mix the other pot with this.

- *Part 2:*

(Start approximately 15 minutes before the last 30 minutes are over)

13. Measure 111g sugar (normal sugar) in a bowl.
14. Measure 36g water in a glass.
15. Measure 132 liquid sugar in a bowl.
16. Warm up the other small pot (pot 2) on the other stove, and then mix the sugar (111g) and the water (36g) in it. Blend it thoroughly. Then put in the liquid sugar.
17. Put it on the stove, and put in the thermometer. Let it get to 118°. When it has come to 118°, remove the pot right away.
18. Wait a few seconds until the biggest bubbles has disappeared, and then put everything in the other pot (pot 1). Very important to try to match it exactly so this is finished when the last 30 minutes of the first pot is finished.
19. Stir everything together thoroughly.
20. Put in some color. – we still have to decide how much. Stir it.
21. Put an alarm for 2 hours. Put back the thermometer, and control the degree at all time, 80°.

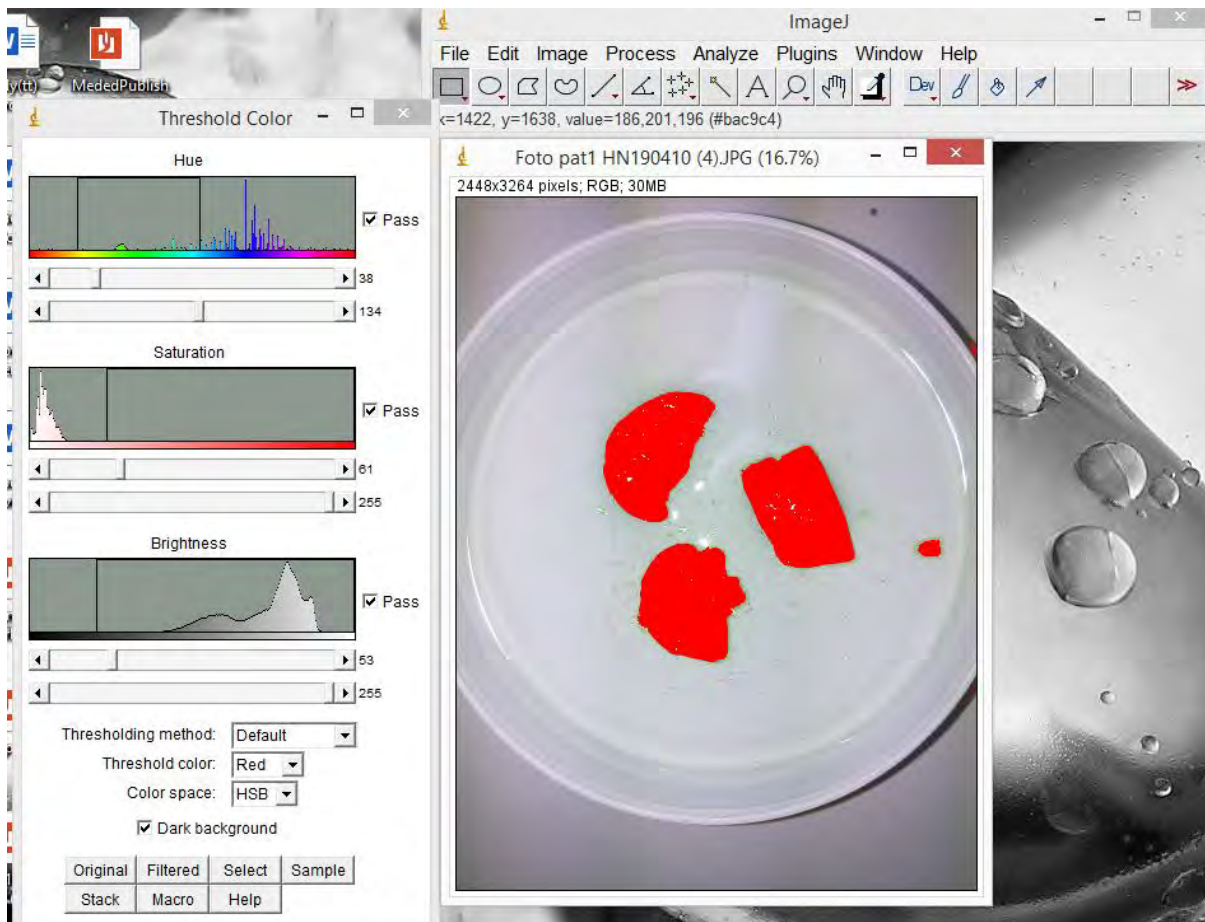
- *Part 3:*

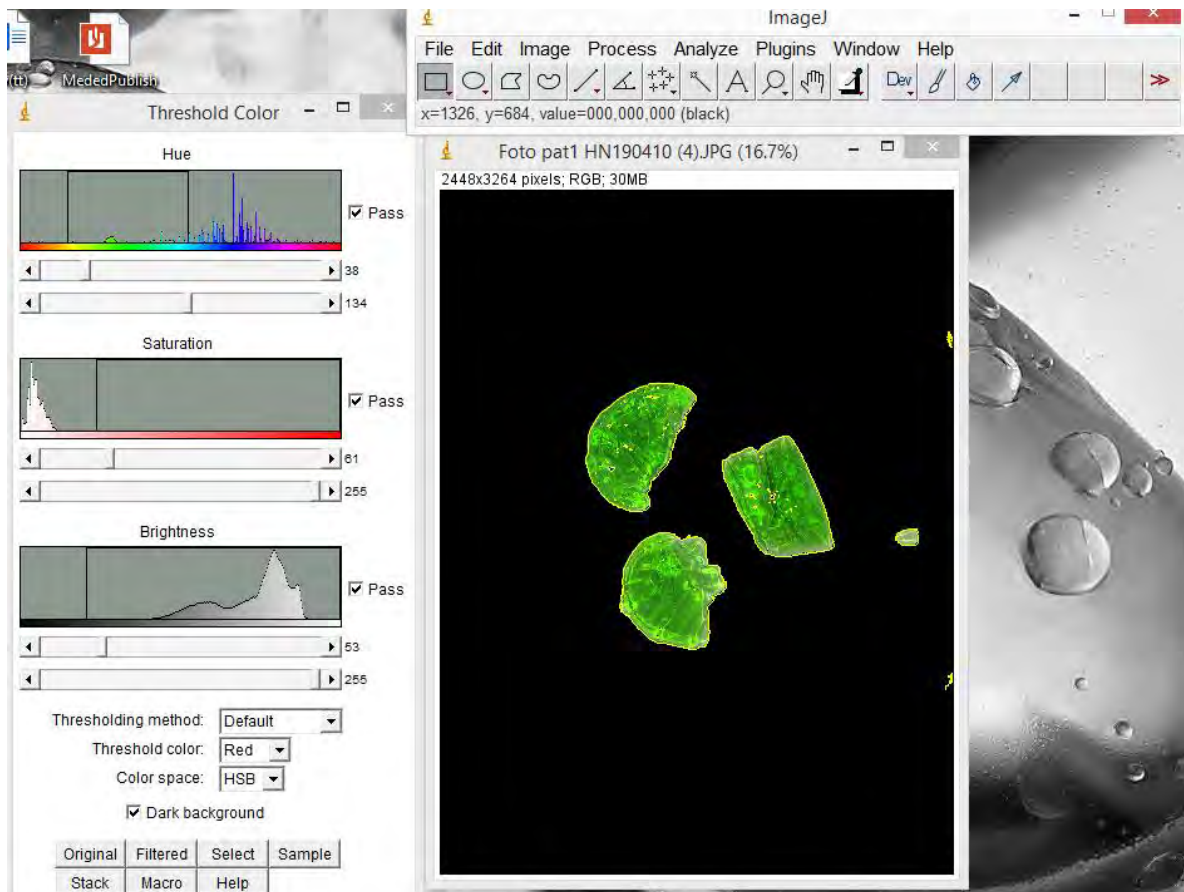
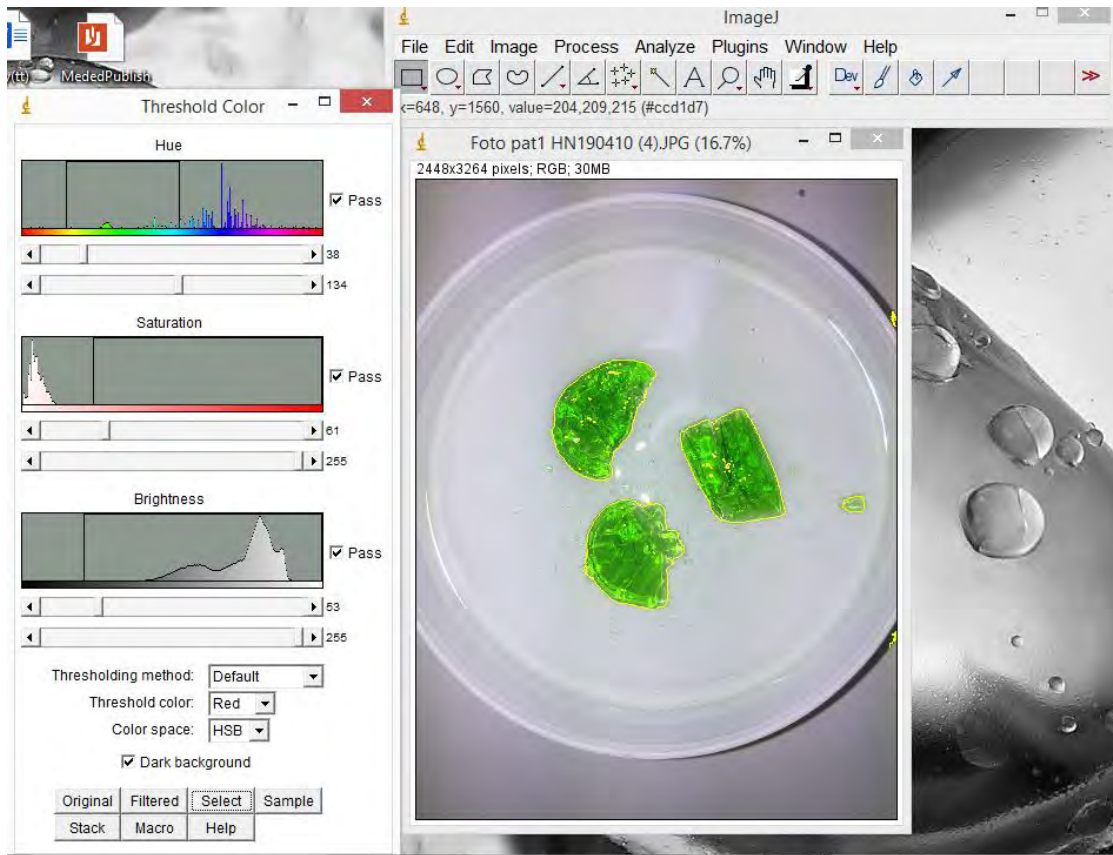
(Start approximately 30 minutes before the last 30 minutes are over)

22. Put plastic over the whole table, keep it very clean, and use gloves at all times.
23. Put on a baking paper on the flat plate. Put on a very thin layer of oil on it.
24. Use gloves, and put in some honey in the holes in the plate with the holes. Not a lot, a very thin layer in each hole in all the surfaces.
25. Put in the screws in the holes, tighten them hard. Let the baking paper (with the thin layer of oil on it) between the flat plate and the plate with the holes in it.
26. Prepare hot water (almost boiling) in a big glass, bowl or something else. Prepare knives, preferably knives with a flat side.
27. When the last 2 hours of cooking is finished, start to pour it in the form, for example 2-3 rows at a time. Be very careful that you don't take anything of the white bubbles and layer, move that aside before taking the green.
28. Clean and flatten the candy after each time you pour a couple of rows in the form with the warm knives. Preferably using a new knife every time.

29. Be very careful at the end – don't pour in any of the white layer from the pot, and make sure that all/most of the candies in the form are the same height.
30. When finished, let it cool down for a couple of minutes.
31. Put a height on the form, for example the boxes where we put in candy. Make sure they are not touching the candy at all. Then put plastic all over it, 3-4 layers, so no air gets in.
32. Put in the fridge for at least 48 hours.

3. Protocole d'analyse des images par ImageJ®





4. Questionnaire pour les critères d'inclusion et de non inclusion

TMD Screening Questionnaire	
1. In the last 30 days, on average, how long did any pain in your jaw or temple on either side last?	<ul style="list-style-type: none">a. No painb. From very brief to more than a week, but it does stopc. Continuous
2. In the last 30 days, have you had pain or stiffness in your jaw on awakening?	<ul style="list-style-type: none">a. Nob. Yes
3. In the last 30 days, did the following activities change any pain (that is, make it better or make it worse) in your jaw or temple area on either side?	
A. Chewing hard or tough food:	<ul style="list-style-type: none">a. Nob. Yes
B. Opening your mouth or moving your jaw forward or to the side:	<ul style="list-style-type: none">a. Nob. Yes
C. Jaw habits such as holding teeth together, clenching, grinding or chewing gum:	<ul style="list-style-type: none">a. Nob. Yes
D. Other jaw activities such as talking, kissing or yawning:	<ul style="list-style-type: none">a. Nob. Yes

5. Exemple d'exercices de kinésithérapie maxillo faciale

POUR L'ENTRAINEMENT DE LA MUSCULATURE MASTICATRICE

Nous vous prions de lire attentivement cet aide-mémoire et de suivre scrupuleusement les instructions.

Asseyez-vous à une table et posez un miroir en face de vous, de telle sorte que vous puissiez observer les mouvements. A l'aide d'une montre, contrôlez la durée des exercices. Ce n'est que par un entraînement quotidien conséquent que le déroulement des mouvements de votre système masticateur s'améliorera.

Massage

Massez pendant 1 minute avec la paume de votre main ou avec vos doigts chacune des parties suivantes: la musculature masticatrice, les tempes ainsi que la région sous les oreilles à l'arrière de la mâchoire inférieure. Soyez attentifs aux noeuds sensibles et traitez-les de manière particulièrement intensive.

Exercices isométriques

Vous exécuterez vos exercices isométriques correctement si, malgré un grand déploiement de force, votre mâchoire ne se déplace pas. Pour chaque exercice, contractez votre musculature de manière maximale pendant 6 secondes, 6 fois de suite, avec de courtes pauses. Lors de ces exercices, les dents de la mâchoire supérieure et de la mâchoire inférieure ne doivent pas se toucher. Entre deux exercices, intercalez une pause de relâchement: appuyez votre front sur vos deux mains et laissez pendre votre mâchoire inférieure détendue pendant 30 secondes.



Exercice 1
Accoudez sur la table, pressez de toutes vos forces votre menton



Exercice 2
Accoudez sur la table, pressez de toutes vos



Exercice 3
Poussez votre menton de toutes vos forces en avant contre vos deux.



Exercice 4
Appuyez votre menton sur une ou sur les deux mains et essayez

Exercice 5

Ouvrez la bouche de telle façon que vous puissiez, avec les doigts de votre main la plus forte, exercer sur les incisives inférieures une contrepression qui vous empêche de fermer la bouche, même en développant une force maximale de la mâchoire inférieure. Protégez vos doigts à l'aide d'un mouchoir plié plusieurs fois.

Exercice 6

Roulez votre langue en arrière contre l'arrière du palais et tirez votre mâchoire inférieure en arrière, comme si vous vouliez vous mordre le palais.

Exercice de mobilité

Dessinez avec un crayon gras une ligne droite verticale sur un miroir. Observez dans le miroir la ligne médiane entre les incisives supérieures et entre les incisives inférieures, et à l'aide de la ligne que vous avez tracée sur le miroir, contrôlez les mouvements suivants:

Ouvrez et fermez lentement la bouche plusieurs fois de suite; à aucun moment la mâchoire inférieure ne doit dévier de sa trajectoire verticale, ni à droite, ni à gauche. Les articulations de la mâchoire ne doivent pas craquer au cours de cet exercice.

Faites cet exercice plusieurs fois par jour.

Vous aurez atteint une ouverture normale de la bouche lorsque vous pourrez y introduire trois doigts verticalement.

6. Fiche pour aider les patients à réapprendre à manger

De multiples sensations auxquelles tous nos sens vont être en éveil, je vous invite pour poursuivre ce programme à prendre avec vous un raisin sec, vous allez d'abord :

- Le **regarder**, la vue qui nous fait porter une attention par le regard sert à se souvenir d'une couleur, d'une forme, d'une disposition dans l'assiette ou dans le plat, et bien ce raisin que l'on va déguster va devenir un souvenir.
- Le **toucher**, le palper, et vous pourrez poursuivre cet exercice du toucher en cuisine lors de la préparation des repas, vous prendrez le temps de toucher tout ce que vous cuisiner, et je vous invite à prendre les aliments dans vos mains, les manipuler avec soin pour ne pas les abîmer et vous allez pouvoir les palper, les caresser, les éplucher ou les déshabiller !
- Le **sentir**, le passer sous vos narines, et par la suite quand vous repenserez à cet exercice vous pourrez le faire pour chaque aliment crus ou cuits. Les odeurs vont être différentes en fonction du mode de préparation, en fonction des condiments utilisés, faites en un jeu à table avec ceux puis partagent votre repas. Prenez ce temps ensemble.
- L'**écouter**, pour le raisin nous n'aurons pas beaucoup de sensations de ce côté-là. En revanche quand vous cuisinez, écouter les bruits qui sortent des plats lors de la cuisson, les craquements sous chaque bouchée, voir sous chaque coups de couteau pendant les préparations, vous écouterez aussi par la suite votre estomac qui parfois ce manifeste, écoutez-le il vous parle, et communiquez avec lui, faites-lui part de vos ressentis.
- Et enfin le **goûter**, quelle texture, quelle saveur, est-ce que c'est amer, sucré, acide, prenez votre temps pour analyser et redécouvrir certains aliments qui n'avaient peut-être pas de goûts avant que vous en découvriez la mastication.

**MASTICATION ET PERFORMANCES MASTICATOIRES : ETUDE AU
SEIN DU KAROLINSKA INSTITUTE EN SUEDE**

RESUME EN FRANÇAIS :

Le projet de cette thèse a vu le jour au sein du laboratoire de réhabilitation orale du Karolinska Institute à Stockholm en Suède par le biais du programme d'échange ERASMUS Stage. Cette thèse reprend dans un premier temps les grandes bases de la physiologie et de la physiopathologie masticatoire. Elle met en avant les méthodes permettant d'évaluer les performances masticatoires notamment après une pose prothétique. L'évaluation de l'efficacité masticatoire dépend de nombreux paramètres qui peuvent varier en fonction des facteurs extérieurs à l'étude. Cette thèse s'articule donc autour d'un article en cours de publication qui vise à standardiser les paramètres extérieurs pouvant influencer l'évaluation des performances masticatoires par la mastication d'un aliment test créé directement au sein de l'unité de réhabilitation orale du Karolinska Institute. L'objectif à terme est de développer une méthode fiable et standardisée pour évaluer les performances masticatoires des patients après toute pose prothétique, et de leur fournir par la suite un suivi et un protocole de rééducation qui leur soient adaptés et qui leur permettent de composer avec ce nouveau corps étranger sans compromettre leur qualité de vie.

**TITRE EN ANGLAIS : MASTICATION AND MASTICATORY PERFORMANCE: A
STUDY AT THE KAROLINSKA INSTITUTE IN SWEDEN**

RESUME EN ANGLAIS :

The project of this thesis was born within the laboratory of oral rehabilitation of the Karolinska Institute in Stockholm in Sweden by the means of the program of exchange ERASMUS Stage. This thesis firstly reviews the major bases of masticatory physiology and physiopathology. It highlights the methods used to evaluate masticatory performance, particularly after a prosthetic fitting. The evaluation of the masticatory efficiency depends on many parameters which can vary according to the external parameters of the study. This thesis is therefore based on an article in the process of publication which aims to standardize the external parameters that can influence the evaluation of masticatory performance by chewing a test food created directly within the oral rehabilitation unit of the Karolinska Institute. The long-term objective is to develop a reliable and standardized method to evaluate the masticatory performance of patients after any prosthetic installation, and to provide them thereafter with a follow-up and a rehabilitation protocol which are adapted to them and which allow them to deal with this new foreign body without compromising their quality of life.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire**MOTS-CLES :** mastication, performances masticatoires, aliments tests, étude clinique, réhabilitation, rééducation, article, protocole.**KEYWORDS :** mastication, masticatory performance, test foods, clinical study, rehabilitation, article, protocol

INTITULE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de santé – Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse
Cedex 09

Directeurs de thèse : Dr ESCLASSAN Rémi et Dr KUMAR Abhishek