

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE SANTE – DEPARTEMENT
D'ODONTOLOGIE

ANNEE 2023

2023 TOU3 3060

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Denis JOSEPH-NOËL

Le 06 juillet 2023

**Evaluation des modifications occlusales suite au port d'une orthèse
d'avancée mandibulaire dans la prise en charge des apnées du
sommeil : méthodologie**

Directeur de thèse : Professeur Frédéric VAYSSE

JURY

Président : Professeur Frédéric VAYSSE

1er assesseur : Professeur Philippe KEMOUN

2ème assesseur : Professeur Paul MONSARRAT

3ème assesseur : Docteur Thibault CANCEILL



Faculté de santé
Département d'Odontologie

➔ DIRECTION

Doyen de la Faculté de Santé
M. Philippe POMAR

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

Directeurs Adjoins
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
Adjoins 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
Adjoins 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
Adjoins 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
Adjoins 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, 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 : M. Ludovic PELLETIER, Mme Laura PASCALIN, M. Thibault DECAMPS
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Lorris BOVIN
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. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE, M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

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

Mise à jour pour le 15 Mai 2023

Remerciements

A ma famille proche, pour son soutien, qu'importe la forme sous lequel il s'exprimait. Merci d'avoir été présent même si c'est « normal », de s'être intéressé au sujet de ma thèse et d'y avoir contribué notamment en passant un temps non négligeable à la corriger. Merci d'avoir été présent les dernières semaines précédents ma thèse et d'avoir été attentionné dans un moment où je n'étais pas au mieux de ma forme.

A mon groupe d'amis de collège/lycée pour leur présence tout au long de mon cursus. Que ce soit en roulant des yeux ou en riant, leur présence a été bénéfique.

Un remerciement tout particulier pour la thèse à GISQUET Gauthier, agrégé en mathématiques, qui m'a aidé à quelques reprises quant au développement d'algorithmes nécessaires, ou non (encore désolé pour la perte de temps).

A mon groupe d'amis du CHU odontologique pour les discussions et les soirées endiablées au tour d'une table où hasard rime avec regard hagard (Mathilde), soirée nanard (Zélia), montrer ses fards (évidemment Charlène), capter son auditoire (Florian) et bazar (moi-même).

A Nils, pour sa présence et son soutien quotidien. Merci pour les débats, les soirées repas et ton amour de l'ordre et de la discipline ainsi que ta volonté à me pousser à mieux faire qui m'ont permis de proposer un meilleur travail et des statistiques plus propres.

A l'équipe ODF du CHU pour son attention toute particulière à l'égard de mon cas que ça soit pour le temps passé en soin (et c'est pas fini) et pour le prise en charge rapide et attentionnée ces dernières semaines.

A Batman (ou Pioupiou pour les intimes) qui a su être présent et apporter un peu de douceur et de réconfort sur ces dernières années.

A Florent, qui m'a soutenu dans une période compliquée de ma vie universitaire.

Aux membres de l'université que je ne pourrais pas tous citer qui se sont impliqués pour les élèves et qui étaient présents en cas de problème. Que ce soit du côté administratif ou académique.

Un remerciement particulier au Docteur Géromine FOURNIER qui m'a introduit au monde de la recherche et qui m'a conseillé et aidé avec le logiciel qui a été utilisé pour cette thèse.

A notre président du jury,

Monsieur le Professeur Philippe KEMOUN

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Habilitation à diriger les recherches (HDR)
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier
- Responsable de la Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

Nous vous remercions de votre présence dans ce jury de thèse.

Merci pour la qualité de votre enseignement et de votre disponibilité à parler du monde de la recherche.

Veillez trouver ici le témoignage de notre gratitude.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Professeur Frédéric VAYSSE

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

Nous sommes honorés de l'intérêt que vous avez pu porter à notre travail et nous vous remercions d'avoir accepté la présidence de ce jury.

Nous vous sommes reconnaissant d'avoir accepté de nous recevoir en tant qu'observateur supplémentaire aux entrevues cliniques avec les patients pour étudier cet aspect de la pratique dentaire peu mis en avant.

Merci de nous avoir transmis votre expérience et vos connaissances qui s'appliquent à un large éventail.

Veillez trouver dans cette thèse le témoignage de notre reconnaissance et notre profond respect.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Professeur Paul MONSARRAT

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

Nous vous remercions d'être présent à ce jury.

Nous vous remercions pour l'aide apportée à un moment clef de la thèse qui a permis son avancée ainsi que pour la partie statistique.

Un sincère merci également pour votre bienveillance et vos enseignements depuis la P2.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Maître de Conférence Thibault CANCEILL

- Maître 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 Assisté par ordinateur en Odontologie (CFAO)
- D.U. de Recherche Clinique en Odontologie
- Attestation de Formation aux gestes et Soins d'Urgence Niveau 2

Nous vous remercions pour votre implication, votre disponibilité et l'attention que vous avez porté à notre promotion depuis la P2 durant la période de la COVID-19 comme en dehors.

Des remerciements sincères pour votre bienveillance et votre travail.

Table des matières

Introduction.....	11
Matériels et méthodes	16
Matériels	16
Méthode	17
Segmentation.....	17
Création de plans.....	19
Mesures	21
Analyse statistique	30
Résultats	32
Différence entre T1 et T2	33
Reproductibilité des résultats	33
Corrélation entre les facteurs étudiés.....	34
Discussion	38
Comparaison des résultats	38
Biais et limites	39
Matériel utilisé.....	39
Taille des échantillons.....	39
Protocole.....	40
Interprétation statistique et résultats	41
Perspectives	45
Conclusion.....	46
Bibliographies.....	47
Annexes	50
Table des figures et des tableaux.....	57

Introduction

Le Syndrome d'Apnées-Hypopnées Obstructrices du sommeil (SAHOS) peut être considéré comme un enjeu de santé public. Sa prévalence estimée est de 3 à 7% chez les hommes et de 2 à 5% pour les femmes avec une prévalence systématiquement plus élevée chez les hommes.(1,2)

Ce syndrome se caractérise par la survenue durant le sommeil de collapsus des Voies Aériennes Supérieures (VAS) entraînant des interruptions complètes (apnées) ou des réductions significatives (hypopnées) de la ventilation. L'hypoxémie et les micro-réveils en résultants sont à l'origine de perturbations de la qualité du sommeil.

D'après l'*American Academy of Sleep Medicine* et la *Société de Pneumologie de Langue Française*, le SAHOS se définit par des critères cliniques et d'imagerie. Parmi eux un diagnostic de SAHOS est posé s'il y a, à l'examen clinique, le facteur A ou B et obligatoirement le facteur C (cf. suite pour la liste des facteurs) (3).

- A : Somnolence diurne non expliquée par d'autres facteurs
- B : Au moins 2 des critères suivants non expliqués par d'autres facteurs :
 - o Ronflements sévères et quotidiens
 - o Sensations d'étouffement et de suffocation pendant le sommeil
 - o Sommeil non réparateur
 - o Fatigue diurne
 - o Difficulté de concentration
 - o Nycturie
- C : Critère polysomnographique ou polygraphie ventilatoire : IAH > 5.

L'Indice d'Apnée-Hypopnée (IAH) est l'ensemble des apnées et hypopnées par heure de sommeil. Il est déterminé par un examen polysomnographique complet qui permet de collecter les informations suivantes :

- L'activité électrique du cerveau
- Les stades de sommeil
- La qualité du sommeil
- Le rythme cardiaque

- La saturation en oxygène du sang
- La présence d'apnées, leur nombre
- La présence d'hypopnées, leur nombre
- L'origine de l'apnée si elle est avérée (centrale ou obstructive)
- Les micro-réveils
- Les ronflements

L'IAH est indispensable pour établir le diagnostic. Il est aussi un indicateur de la sévérité de la maladie :

- SAHOS léger : IAH entre 5 et 15
- SAHOS modéré : IAH entre 15 et 30
- SAHOS sévère : IAH > 30.

Le SAHOS est un enjeu de santé public du fait de ses conséquences cliniques (3–8) :

- A court terme : une baisse de vigilance, un risque accru d'accidents de la route, des problèmes de mémoire, des troubles de l'humeur ainsi qu'une altération de la qualité de vie.
- A long terme : une aggravation ou un déclenchement de pathologies de type cardiovasculaires (HTA, infarctus du myocarde, AVC), neurologiques (asthénie), d'obésité, de diabète de type II, de cancers, et de dysfonctions érectiles.

Le SAHOS possède deux principaux traitements symptomatiques qui ont pour but de réduire l'IAH et par conséquent les risques généraux. Ces traitements sont choisis principalement en fonction de la gravité de l'IAH (8,9) :

- La ventilation en Pression Positive Continue (PPC) : flux continu d'air afin de maintenir les VAS ouvertes et ainsi d'empêcher leur blocage. Elle est principalement indiquée chez les patients avec SAHOS sévère ou SAHOS modéré avec des comorbidités cardiovasculaires sévères (voir AMM).
- L'Orthèse d'Avancée Mandibulaire (OAM) : une orthèse bi-maxillaire avec un mécanisme de bielles permettant la propulsion de la mandibule libérant les

VAS. Son indication principale concerne les patients présentant un SAHOS modérés (IAH entre 15 et 30).

Ces deux traitements restent efficaces cependant ils ont des conséquences différentes. Pour l'OAM, l'apparition de déplacements dentaires et de modifications occlusales sont des conséquences fréquentes (10–12).

L'occlusion correspond à l'engrènement des dents maxillaires et mandibulaires. Elle se décompose en 3 parties : les dents, l'ATM et le système neuro-musculaire. Ce dernier permet les mouvements volontaires et les réflexes (13). Les modifications occlusales observables en OIM ont 2 étiologies : le repositionnement ou remaniement articulaire sans déplacement dentaire intra-arcade ou les déplacements dentaires. Une combinaison des deux paramètres est probable mais il est particulièrement difficile de distinguer les 2 phénomènes.

Les modifications dentaires ont été observées par deux approches principales :

- L'utilisation de questionnaires. Elle permet d'étudier le ressenti par le patient de modifications occlusales lors du port de l'orthèse à court terme. Les douleurs ou inconforts sont des manifestations des forces exercées sur les organes dentaires. *La mobilité ainsi que la perte de substance ont également été étudiées dans certaines études.* Ces effets sont le plus souvent transitoires. (10)
- L'étude clinique objective intra-buccale des modifications occlusales. A plus long terme, des déplacements dentaires sont plus facilement quantifiables.

Plusieurs études se sont intéressées aux modifications occlusales dans le cadre des OAM en plus d'altérations de l'Articulation Temporo-Mandibulaire (ATM), musculaires, parodontales et alvéolo-dentaires (10).

Les facteurs analysés sont :

- Le recouvrement : l'enregistrement à la cire de l'occlusion, TéléRadiographie de Profil (TRP) ou un logiciel tel que 3shape-OrthoAnalyzer™, il est possible d'évaluer les modifications. Il est évalué en mesurant la distance entre le bord libre de l'incisive supérieure et sa projection sur l'incisive inférieure. C'est l'un des éléments les plus impactés par l'OAM, il a tendance à se réduire par modification de l'axe dentaire (14–18).

- Le surplomb antérieur et postérieur : l'enregistrement à la cire, les TRP et des logiciels d'analyse sont également utilisés pour le surplomb antérieur. On prend pour points de repère le point mésial du bord libre de l'incisive supérieure et sa projection perpendiculaire sur la surface vestibulaire de l'incisive inférieure. Comme le recouvrement, il est fortement impacté par l'OAM et tend à se réduire (14–18).
- La Distance Inter-Molaire (DIM) maxillaire et mandibulaire : c'est la distance entre 2 points bilatéraux facilement identifiables tels que les fosses centrales mésiales. C'est un facteur qui bouge peu et qui a tendance à augmenter(14,15,17) .
- La Distance Inter-Canine (DIC) maxillaire et mandibulaire : c'est la distance entre 2 points bilatéraux facilement identifiables tels que les pointes canines. C'est un facteur qui se modifie peu. Il a tendance à diminuer ou augmenter en mandibulaire en fonction des études (14,15,17,19).
- La longueur de l'arcade antérieure, postérieure et de l'encombrement : leurs points de repères ne sont pas définis (15,17). Cependant la longueur d'arcade antérieur permet d'estimer indirectement l'encombrement dentaire. L'encombrement mandibulaire a tendance à diminuer avec le port d'une OAM(11,15,17).
- La relation entre les molaires antagonistes (Classe de ANGLE) : la modification de la classe de ANGLE ou le déplacement des molaires et donc de l'occlusion est étudiée. La mandibule a tendance à avancer(12,14,15,17).
- La profondeur de l'arcade : changement non significatif (17)
- La largeur du plan transversal (17)
- Les angles faciaux à repères osseux (SNA, SN/GoGn) : des points de repères osseux sont posés sur les TRP et les variations d'angles induites par l'OAM démontrent les modifications osseuses (11,15,18).

Pour évaluer les modifications occlusales, il faut obtenir un référentiel. Il existe plusieurs techniques de superposition entre les 2 arcades à comparer en fonction du type de fichier étudié. Concernant les fichiers STL (Standard Tessellation Language) : on se base souvent sur des repères anatomiques muqueux (jonction muco-gingivale ou second rugae palatin) ou dentaires (20–23). Pour les techniques

de radiologie (CBCT/TRP), on se base sur des points de repères osseux (18). Une combinaison mixte est possible (24,24,25).

Dès que les 2 arcades sont superposées, il est possible de mesurer les différences. Le papier millimétré peut être utilisé dans le cas de mesure sur des modèles en plâtre ou sur des comparaisons de céphalométrie (18). Les études sur les imageries permettent l'utilisation du logiciel qui calcule la distance moyenne entre les 2 modèles à comparer (23,26). La mesure peut être plus précise en s'intéressant individuellement aux dents avec l'étude des axes de rotation des dents. L'occlusion est étudiée à l'aide d'un occlusogramme, bien que cette technique mérite encore d'être étudiée (25,27).

Cette thèse s'intéresse à la manière d'exploiter des modèles numériques afin d'étudier les modifications occlusales.

Objectif principal : développer une méthodologie permettant d'étudier la part articulaire impliquée dans les modifications occlusales.

Objectifs secondaires :

- Confronter la méthodologie à un modèle théorique de modification occlusale dont les causes sont connues (1 : modifications dentaires, 2 : modifications articulaires, 3 : modifications dentaires et articulaires)
- Appliquer cette méthodologie sur plusieurs sujets
- Identifier des facteurs prédictifs de modification

Matériels et méthodes

Matériels

Les informations étudiées proviennent de patients issus du CHU, à Toulouse, venus à des fins thérapeutiques dans le cadre de SAHOS.

Dans le cadre des soins, une première empreinte numérique était réalisée dans l'optique de l'envoyer au laboratoire qui fabrique l'OAM. Cette dernière est ensuite portée pendant plusieurs mois durant lesquels des contrôles et ajustements sont effectués. Une fois l'efficacité de l'orthèse contrôlée par polysomnographie ou polygraphie, il a été réalisé une seconde empreinte de contrôle.

Ces deux empreintes ont été par la suite récupérées afin d'être traitées avec les données du dossier médical associé.

A chaque patient étaient corrélés deux modèles numériques. T1 correspondant à l'empreinte numérique un mois avant la création et la pose de l'OAM tandis que T2 correspond à l'empreinte de contrôle plusieurs mois après la pose du dispositif. Ces fichiers ont été transformés en fichiers STL afin de pouvoir être lus par le logiciel CloudCompare™.

CloudCompare™ est un logiciel d'édition et de traitement de nuage de points développé par Mr Girardeau-Montaut, TELECOM Paris Tech et EDF en 2003 qui permet la comparaison de maillages 3D à l'aide d'un algorithme de minimalisation de distances. La version v2.12.4 est celle qui a été utilisée pour ce travail.

Les critères d'inclusion étaient d'être un patient présentant un SAHOS et ayant deux empreintes numériques disponibles et traité par OAM. La seconde empreinte était réalisée au moins 4 mois après la première.

Les critères de non inclusion correspondaient aux patients n'ayant pas de SAHOS, ceux ayant un SAHOS non traité par OAM ou les patients ayant eu un port inférieur à 4 mois.

Les critères d'exclusion équivalaient à des empreintes numériques illisibles ou avec des pertes de données trop importantes. De même, le port irrégulier du dispositif médical était un facteur d'exclusion.

Les modèles virtuels ont ensuite pu être analysés avec CloudCompare™.

Les analyses statistiques ont été réalisées sur RStudio version 4.1.0 (2021-05-18). Le critère de jugement principal était la modification d'occlusion qui se décompose elle-même en déplacement dentaire et en déplacement articulaire. Ces valeurs sont exprimées en unité spécifique (u.a) propre au logiciel CloudCompare™

Méthode

Segmentation

Après importation sur le logiciel CloudCompare™, les modèles étudiés sont d'abord segmentés (grâce à l'outil ) en traçant une ligne passant par le collet des dents (Figure 2) et ils sont colorés par la même occasion afin de différencier au mieux certains éléments par la suite.

Une fois la ligne tracée, il n'a été conservé que la partie dentaire en utilisant la fonction « segment out »  en rejetant les parties non désirées, que ce soit pour le maxillaire ou la mandibule des modèles numériques T1 et T2.

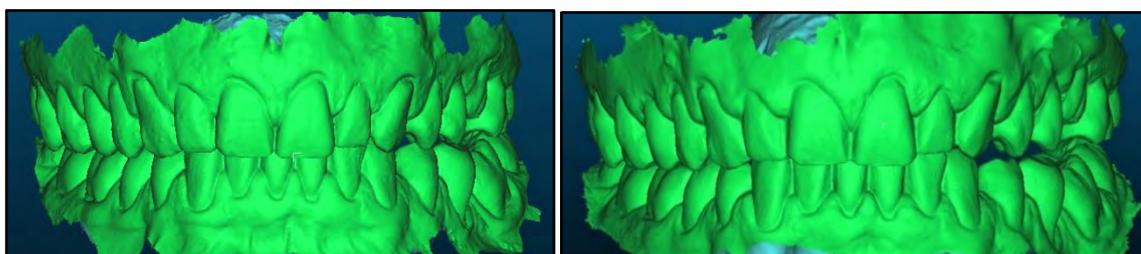


Figure 1 : Empreinte T1 (Gauche) et T2 (Droite)

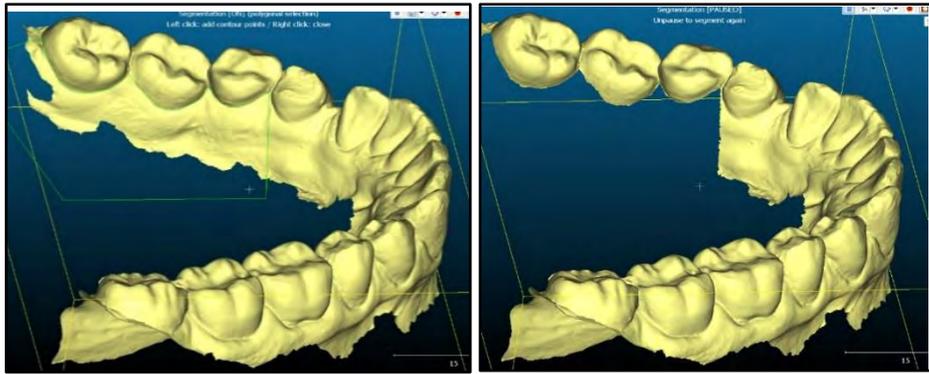


Figure 2 : Segmentation de la partie gingivale non retenue (Gauche) en utilisant l'outil "segment out" (Droite). Opération à répéter jusqu'à obtention de la partie dentaire restante uniquement.

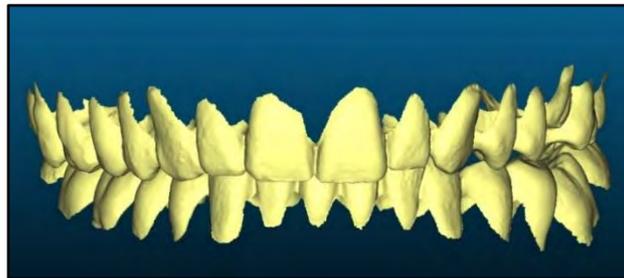


Figure 3 : Arcade en occlusion après segmentation

Les 2 modèles sont étudiés lors de cette segmentation afin de vérifier que les données des dents comparées soient identiques. En cas de perte de données sur une dent, telle que sur les dernières molaires en distal due au manque de place lors de la prise de l'empreinte, alors celle-ci n'est pas conservée dans aucun des 2 modèles afin d'équilibrer les deux empreintes et de s'assurer la comparaison de la même quantité et qualité de dents.

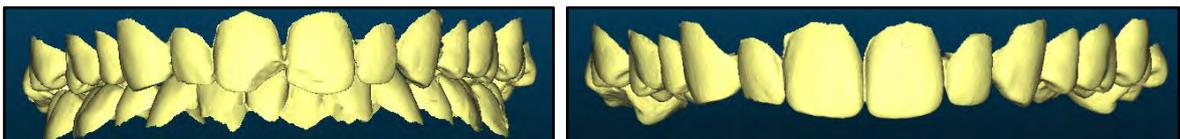


Figure 4 : T1 et T2 présentant une différence de données sur la 11

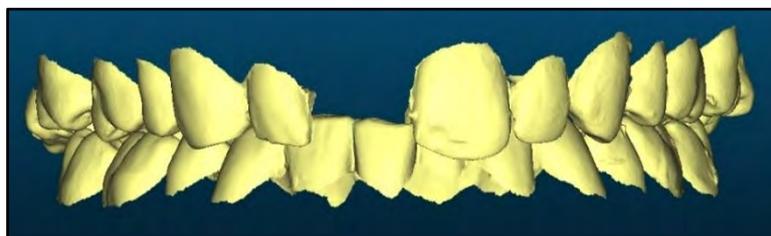


Figure 5 : Segmentation de la 11 (à réaliser sur T1 et T2) pour pouvoir comparer les dents ayant subies des modifications induites uniquement par l'OAM et non par restauration ou détérioration

Création de plans

Afin de pouvoir étudier les caractéristiques, 2 plans sont nécessaires :

- Le Plan d'Occlusion (PO) : il existe différents PO. Il est retenu celui passant par les cuspides disto-linguales des 2èmes molaires mandibulaires et du point le plus haut du bord incisivo-canin mandibulaire (28). Si elles sont absentes, alors on gardera les mêmes points qui seront reportés sur les premières molaires mandibulaires.

2 points sont placés sur ce plan : le point inter-molaire qui se situe au milieu des 2 points posés sur les cuspides lors de la création du plan et le point inter-incisif et ce, grâce à l'outil « polyline » .

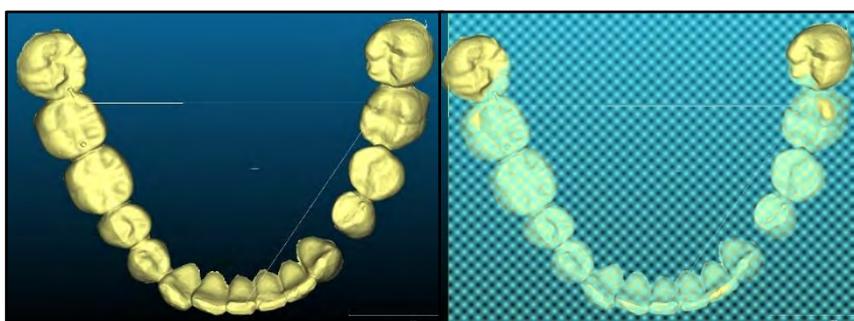


Figure 6 : Apposition des points de repères pour le plan d'occlusion et création de ce dernier

Une fois les points placés, le plan est généré via les commandes : Edit > Plane > Fit.

- Le Plan Sagittal : afin d'avoir une continuité avec le PO et n'ayant pas de perception de la face sur lequel sont présents les points de référence afin de créer le Plan Sagittal Médian, il a été décidé que le plan sagittal serait le plan orthogonal au plan d'occlusion passant par le point inter-molaire et inter-incisif.

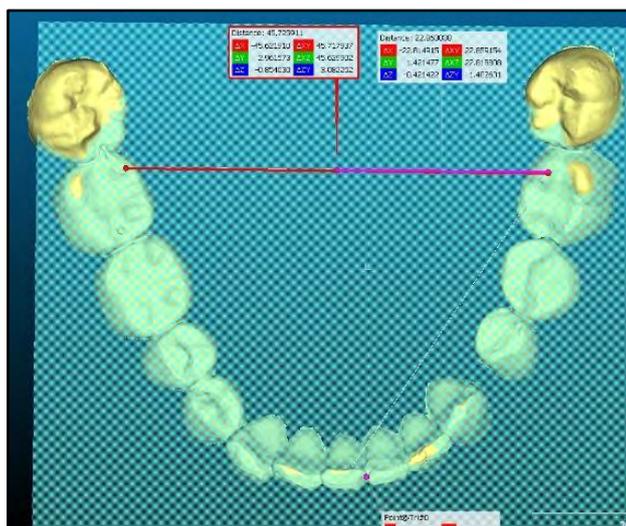


Figure 7 : Placement du point inter-molaire et inter-incisif

Les points sont placés sur les mêmes points de repères que ceux du PO à l'aide de l'outil « point picking »  puis les mesures sont effectuées via « select two points and display segment information »  pour placer le point inter-molaire. Il est ensuite sélectionné comme centre du plan et paramétré afin de le placer orthogonalement au PO.

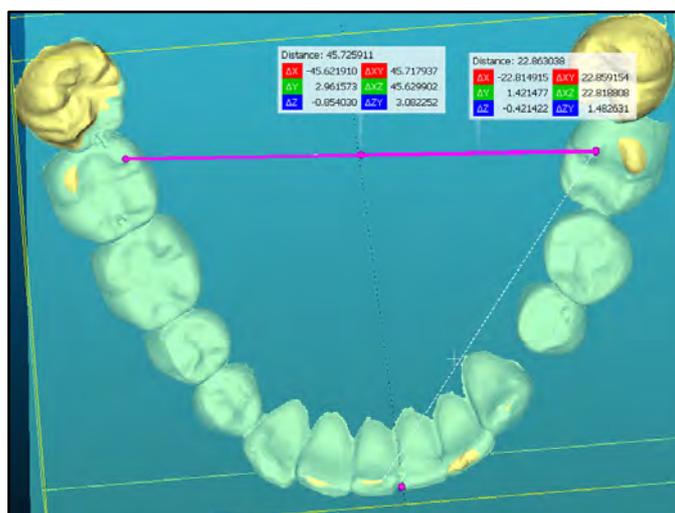


Figure 8 : Placement du plan sagittal ayant pour centre le point inter-molaire

Dès lors, il faut vérifier visuellement que ce sont bien les mêmes dents segmentées sur T1 et T2.

Mesures

Recouvrement et surplomb (Triangle de SLAVICEK)

Le triangle de SLAVICEK permet de déterminer le recouvrement, le surplomb antérieur et la pente de guidage.

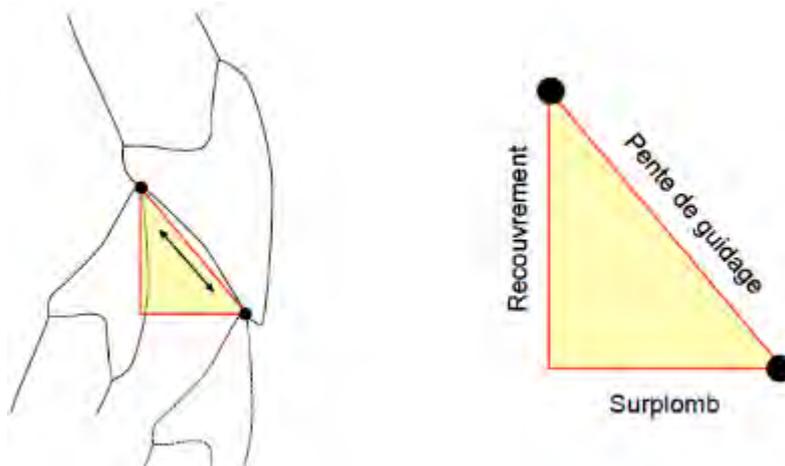


Figure 9 : Triangle de SLAVICEK

Une fois les plans mis en place, on peut segmenter le maxillaire et la mandibule en passant par l'axe sagittal après s'être bien aligné aux axes du plan sagittal et du plan d'occlusion.



Figure 10 : Visualisation du plan d'occlusion et du plan sagittal en vue frontale



Figure 11 : Segmentation de l'arcade maxillaire et mandibulaire en passant par le plan sagittal

Nous pouvons dès lors nous positionner parallèlement au PO et créer le triangle de SLAVICEK pour obtenir les valeurs du recouvrement et du surplomb.

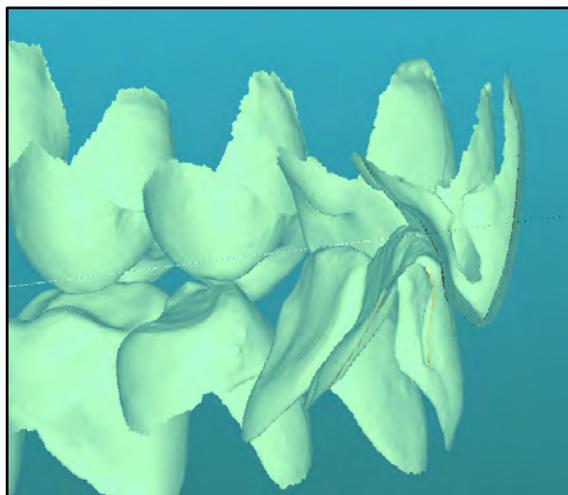


Figure 12 : Vue transversale des arcades segmentées

Pour le concevoir, les points de repères pris en compte sont :

- Le point le plus bas de l'incisive centrale du maxillaire
- Le point le plus haut de l'incisive antagoniste segmentée

Le logiciel ne permettant pas de pouvoir tracer un triangle rectangle, sa construction a été approchée par la création d'un rectangle passant par les points de repères décrits plus haut. Les points du triangle ont été ajoutés sur les angles du rectangle qui nous intéressent pour obtenir un triangle le plus proche possible du triangle rectangle (exemple : sur la figure 14, l'angle B est de 89.75° ce qui est suffisamment proche de 90° pour ignorer le biais de mesure associé).

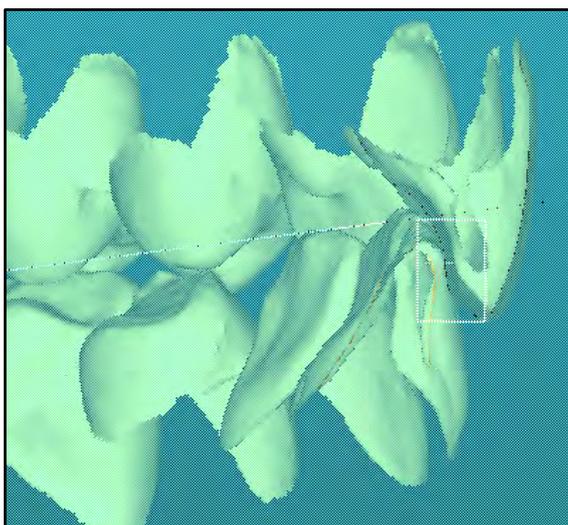


Figure 13 : Placement du rectangle sur les repères

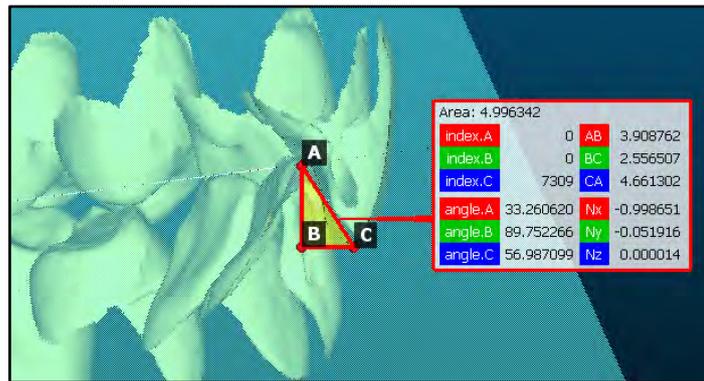


Figure 14 : Placement du triangle de SLAVICEK

Ces points sont la projection des points de repères sont apposés sur le plan sagittal.

Le segment AB correspond au recouvrement et le segment BC au surplomb.

Distance intermolaire

La distance intermolaire mandibulaire comme maxillaire a été mesurée en unité spécifique (u.a).

Les points de repères pris en compte sont la fosse centrale mésiale des premières molaires droites et gauches mandibulaires ou maxillaires (17) (Figure 15).

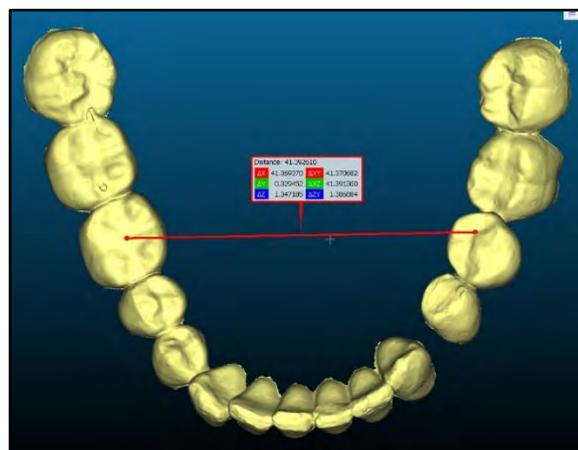


Figure 15 : Mesure de la distance inter-molaire mandibulaire (76-46)

Distance inter-canine

La distance inter-canine est la distance transversale rectiligne mesurée entre le sommet des pointes canines droites et gauches pour la mandibule et le maxillaire. Dans le cas où les pointes canines étaient plates suite à l'usure, un point de repère

distinct était choisi si possible sinon les points de repères étaient appliqués sur le bord libre entre l'arête vestibulaire et palatine/linguale dans le prolongement du zénith palatin/lingual et du cingulum.

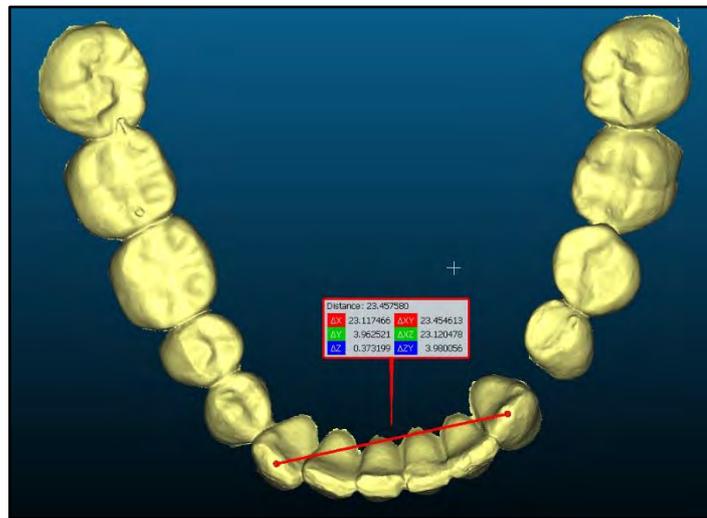


Figure 16 : Mesure de la distance inter-canine mandibulaire

Encombrement

L'encombrement a été mesuré via l'indice de LITTLE. En se plaçant en vue occlusale, les points ont été placés sur le PO. Ils représentent la projection sur le PO des points de contact entre les faces mésiales des canines et les incisives. En reliant les points 2 à 2, 5 mesures sont obtenues.

Les 5 mesures sont additionnées s'il y a encombrement. S'il y a un diastème, il faut soustraire cette mesure. L'encombrement est positif, il est négatif en cas d'espaces (29).

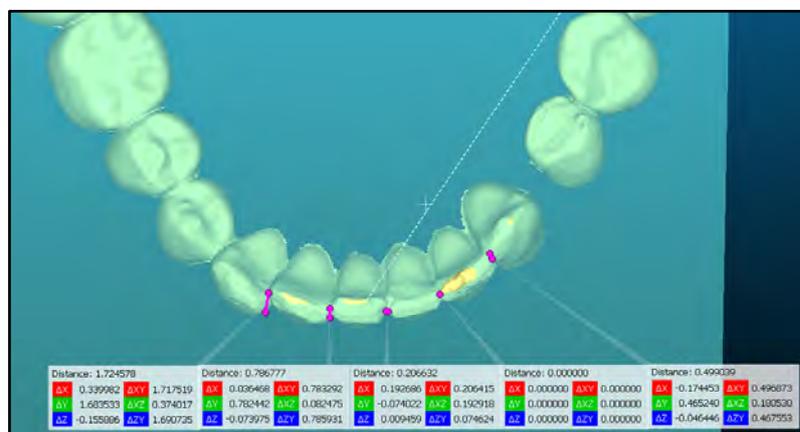


Figure 17: mesure de l'indice de LITTLE mandibulaire

Courbe de VON SPEE

La courbe de VON SPEE représente la courbe du plan occlusal mandibulaire.

Dans notre étude, elle a été approchée en utilisant l'indice de BALRIDGE.

La profondeur entre le PO et le point le plus bas (ou le plus haut selon la courbe de VON SPEE) a été mesurée. Un point a été placé sur la face occlusale de la dent la plus éloignée. A partir de ses coordonnées et de celles du PO, on a pu utiliser l'algorithme [voir Annexe] qui nous a donné la distance la plus courte entre le point placé et la PO.

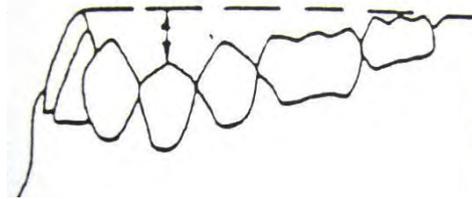


Figure 18 : Indice de BALRIDGE (il correspond à la double flèche)

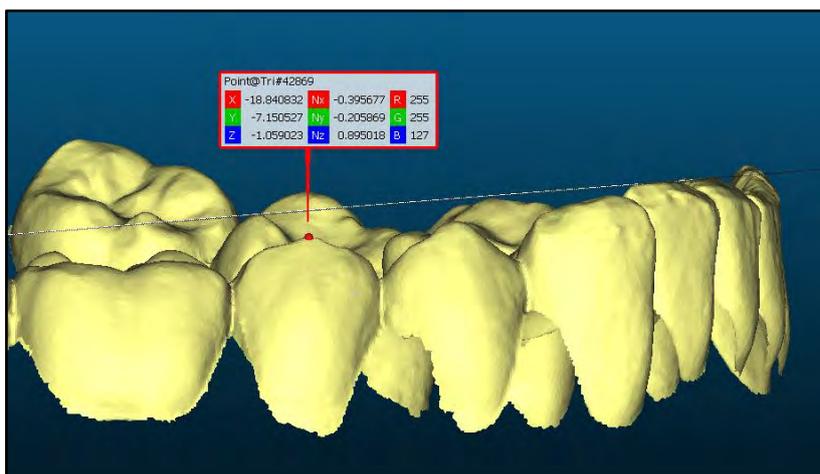


Figure 19 : Placement du point le plus éloigné du plan d'occlusion pour calculer l'indice de BALRIDGE

Modifications occlusales

Différence d'occlusion entre les modèles T1 et T2

Pour quantifier la différence totale d'occlusion, il faut pour cela obtenir un même référentiel afin de comparer les 2 modèles :

- Fusion des arcades : Importer sur la même fenêtre de CloudCompare™ les arcades des modèles T1 et T2. Fusionner l'arcade mandibulaire à l'arcade maxillaire en sélectionnant leur « mesh » (maillage) et en utilisant « merge »

 pour T1 et T2 respectivement afin d'obtenir un nouveau « mesh » appelé F1 pour les arcades de T1 et F2 pour les arcades de T2. F1 correspond au maxillaire et à la mandibule en occlusion.

- Superposition des modèles : sélectionner les « mesh » F1 et F2 et utiliser l'outil « align 2 clouds by picking at least 4 equivalent point pairs »  afin de pouvoir apposer 11 landmarks aux maxillaires tout en conservant F1 en référence par rapport à F2.

Ces landmarks étaient apposées sur les embrasures vestibulaires et palatines des premières molaires (ou des deuxièmes en fonction de l'absence des premières), sur les pointes cuspidiennes des premières prémolaires et des canines, sur le point inter-insicif le plus haut et sur le cingulum des canines ou des incisives en choisissant les plus marquées. La superposition automatique n'a pas été retenue car elle propose un compromis entre l'arcade maxillaire et mandibulaire, or seul le maxillaire doit être superposé et être le référentiel car moins sensible aux modifications articulaires.

- Visualiser la différence d'occlusion : une fois les modèles superposés en utilisant le maxillaire comme référentiel, sélectionner les 2 « mesh » et calculer leur distance en appuyant sur l'outil « compute cloud/mesh distance » . Conserver toujours F1 en référence.

Suite à cela, on obtient une image superposée avec un code couleur indiquant les zones de d'expansion ou de réduction.

Cette comparaison se base sur le calcul de la distance minimale entre un point de la surface du modèle F1 et celui du modèle de F2.

- Obtenir les données numériques de cette différence d'occlusion : créer l'histogramme de cette comparaison. Garder le pas de l'échelle de couleur de 256 afin d'avoir le même nombre de données. L'histogramme permet déjà d'avoir une estimation visuelle des modifications.

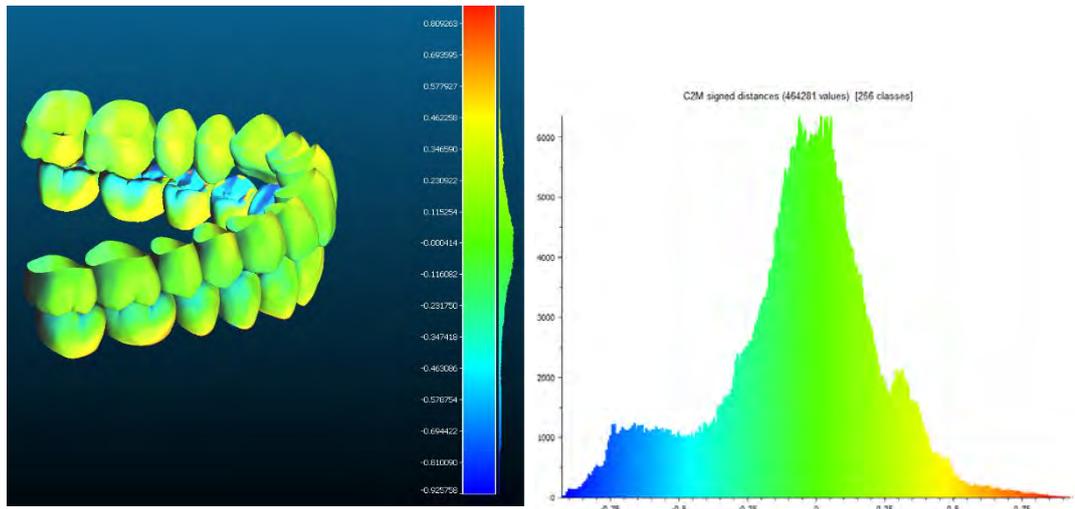


Figure 20: Différence entre l'occlusion de A et C avec histogramme (en rouge et bleu sont représentés les déplacements les plus extrêmes)

Exporter l'histogramme au format CSV (Comma Separated Value), remplacer les virgules par des points pour les valeurs non entières afin de pouvoir faire les calculs nécessaires.

Nous obtenons les données suivantes (cf Figure 21) :

- Value : le nombre de vertex compris entre « Class start » et « Class end »
- Class start et Class end : ce sont les bornes dans lesquelles il existe un certain nombre de distances entre les vertex issus des 2 modèles numériques

A partir de ceci, sont calculés :

- Class : c'est la médiane entre « Class start » et « Class end »
- Moyenne : cela correspond à la Class multipliée par le nombre de Value. Le poids de cet intervalle est fonction de l'importance des distances et du nombre de vertex qui sont situé à cette distance
- Moyenne Absolue : c'est la valeur absolue de la moyenne. Cela permet de connaître l'ensemble des variations pour chaque borne. Si l'on n'utilise pas la valeur absolue, alors un mouvement allant en antérieur pourrait être compensé par un mouvement allant en postérieur. La valeur absolue permet de montrer tous les mouvements. Leur type n'est pas étudié ici.

- Distance u.a moyenne : correspond à la somme des Moyennes Absolues divisée par la somme des Value. Cela donne la distance moyenne de tous les déplacements effectués en u.a.

	Value	Class start	Class end	Class	Moyenne	Moyenne absolue	Distance u.a moyenne
1	23	-0,92575794	-0,91852869	-0,92214332	-21,2092963	21,20929632	0,204862163
2	31	-0,91852869	-0,91129944	-0,91491407	-28,3623361	28,36233605	
3	89	-0,91129944	-0,90407019	-0,90768481	-80,7839484	80,78394844	
4	150	-0,90407019	-0,89684094	-0,90045556	-135,068334	135,0683343	
5	144	-0,89684094	-0,88961168	-0,89322631	-128,624589	128,6245886	
6	137	-0,88961168	-0,88238243	-0,88599706	-121,381597	121,3815968	
7	141	-0,88238243	-0,87515318	-0,8787678	-123,90626	123,9062605	
8	144	-0,87515318	-0,86792393	-0,87153855	-125,501552	125,5015516	
9	169	-0,86792393	-0,86069467	-0,8643093	-146,068272	146,0682718	
10	172	-0,86069467	-0,85346542	-0,85708005	-147,417768	147,4177683	
11	234	-0,85346542	-0,84623617	-0,8498508	-198,865086	198,8650862	
12	264	-0,84623617	-0,83900692	-0,84262154	-222,452088	222,4520875	
13	304	-0,83900692	-0,83177767	-0,83539229	-253,959257	253,9592566	
14	391	-0,83177767	-0,82454841	-0,82816304	-323,811748	323,8117483	
15	368	-0,82454841	-0,81731916	-0,82093379	-302,103634	302,1036336	

Figure 21 : Tableau de calcul de la Class, de la moyenne, de la moyenne absolue et de la distance moyenne en u.a entre les 2 modèles (exemple issu du traitement de la différence d'occlusion entre A et C)

Détermination de la part dentaire

Chaque arcade T2 a été comparée à son homologue T1 après superposition automatique en utilisant  avec l'arcade de T1 en référence (permettant une reproductibilité plus fiable que des landmarks posés manuellement) (30). La comparaison s'est faite de manière automatique comme pour la différence d'occlusion entre les modèles.

Le calcul de la différence et l'obtention de données numériques se déroulent de la même manière que dans la partie ci-dessus.

Détermination de la part articulaire

La part articulaire peut être considérée comme l'ensemble des modifications occlusales à laquelle on soustrait la part dentaire.

$$\Delta\text{Occlusion} = \Delta\text{Maxillaire} + \text{Mandibule} + \Delta\text{Articulaire}$$

Où « Δ Occlusion », « Δ maxillaire », « Δ mandibule », « Δ articulaire » correspondent respectivement à la différence d'occlusion en F1 et F2, la différence dentaire entre l'arcade maxillaire de T1 et T2, la différence dentaire entre l'arcade mandibulaire de T1 et T2 et la différence induite par l'articulation dentaire.

Afin d'essayer de déterminer la part articulaire de la part dentaire dans la modification d'occlusion, une expérience en simple aveugle a été réalisée.

A l'aide de MeshMixer™ qui est un logiciel de travail de maillage 3D, un modèle dentaire contrôle a été créé puis a été modifié en trois autres modèles. L'un ne possède que des modifications dentaires, un autre ne contient qu'une modification articulaire et le dernier est la somme de modifications dentaires et articulaires.

A partir de cela, les modèles A, B, C et D ont été confiés à un tiers qui connaissait les modalités de modifications et savait seulement que le C correspondait au modèle contrôle.

C correspond donc dans notre cas à F1/T1, modèle auquel on comparera les autres. Les comparaisons se feront mathématiquement, comme précédemment.

Il faut d'abord déterminer la part de modifications occlusales à laquelle on soustrait celle des modifications dentaires, en faisant cela on obtient la part articulaire.

A	Maxillaire A / Maxillaire contrôle	0.058
	Mandibule A / Mandibule contrôle	0.054
	Fusion A / Fusion Contrôle	0.205
	Part articulaire A	0.092
B	Maxillaire B / Maxillaire contrôle	0
	Mandibule B / Mandibule contrôle	0
	Fusion B / Fusion contrôle	0.296
	Part articulaire B	0.296
C	Maxillaire contrôle / Maxillaire contrôle	0
	Mandibule contrôle / Mandibule contrôle	0
	Fusion contrôle / Fusion contrôle	0.016
	Part articulaire C	X
D	Maxillaire D / Maxillaire contrôle	0.058
	Mandibule D / Mandibule contrôle	0.054
	Fusion D / Fusion contrôle	0.113
	Part articulaire D	-0.003

Tableau 1 : Comparaison des arcades modifiées (A, B et D) à leur homologue contrôle (C). La comparaison des maxillaires, des mandibules et des arcades fusionnées est obtenue via une manipulation de CloudCompare™. La part articulaire est obtenue mathématiquement

En comparant le modèle maxillaire de C à lui-même après superposition automatique des arcades, la différence est proche de 0. La comparaison est répétée en mandibulaire, le résultat est identique. En comparant les modèles fusionnés après superposition via les landmarks, on peut détecter une modification de l'occlusion égale à 0.016 u.a ce qui correspond à l'imprécision de cette technique. La part articulaire n'est pas calculée car est égale à 0 puisqu'aucune modification n'a été réalisée. Si elle avait été calculée, elle aurait été égale à -0.016 ce qui correspond à l'imprécision.

En effectuant la comparaison entre les modèles A et C, la différence dentaire est de 0.058 et 0.054 pour le maxillaire et la mandibule respectivement. La part articulaire qui en découle est de 0.092. La différence semble être articulaire et dentaire.

En effectuant la comparaison entre les modèles B et C, la différence dentaire est proche de 0. La part articulaire semble être de 0.296. La différence semble être purement articulaire.

En effectuant la comparaison entre les modèles D et C, la différence dentaire est de 0.058 et 0.054 pour le maxillaire et la mandibule respectivement. La part articulaire est de -0.003 donc probablement de 0 si l'on prend en compte la part d'imprécision de la technique de superposition avec les landmarks. La différence semble être purement dentaire.

Chaque modèle modifié en simple aveugle a pu être retrouvé par l'examineur en utilisant cette méthodologie. La méthode est valide In Vitro.

Analyse statistique

Les données ont été récoltées pour chaque sujets à T1 et T2 et consignées dans un tableau avant de subir une analyse statistique avec le logiciel RStudio.

Un Indice de Corrélation Intraclasse (ICC) a été calculé pour chaque sujet pour chaque paramètre des mesures de T1, de T2 puis pour les mesures de T1 et de T2 afin de rajouter de la puissance en augmentant la taille de l'échantillon. Les mesures ont été effectuées par le même manipulateur à plusieurs semaines d'intervalle afin de limiter les biais induits par la variabilité inter-individuelle.

Un test de WICOXON-MANN-WHITNEY (test non paramétrique de comparaison de moyenne) a été mis en place pour vérifier s'il existe une différence significative des mesures entre T1 et T2.

Un test de STUDENT s'en est suivi afin de compléter les informations malgré l'absence des 30 sujets nécessaires.

Afin d'étudier quels sont les paramètres qui peuvent influencer les modifications d'occlusion, le test de corrélation de PEARSON a été effectué à 2 reprises. Le premier test réalisé concerne la comparaison des données de T1 en fonction des mesures de modifications d'occlusion afin de vérifier si elles sont des facteurs prédictifs de modifications occlusales.

Le deuxième s'effectue en comparant la différence des mesures entre T1 et T2 rapportées en valeurs absolues avec les mesures de modification d'occlusion. Cela permet de connaître quels éléments sont impliqués dans ces modifications.

Résultats

Le nombre de sujets étudiés était de 11 dont 9 hommes et 2 femmes allant de 37 à 64 ans avec une moyenne d'âge de 47,6 ans dont l'écart-type est de 9,3.

Le tableau répertoriant les mesures effectuées est consultable à l'annexe 2.

Un tableau similaire a été confectionné en se basant sur la différence entre les paramètres T1 et T2 [Annexe 3]. Ce tableau répertorie les données qui seront comparées.

Le tableau ci-dessous enregistre, pour chaque différence entre une caractéristique choisie de T1 et T2, la moyenne, la médiane et l'écart-type en valeur non absolue et absolue :

	Moyenne sigma	Médiane sigma	Ecart-Type sigma	Moyenne absolue sigma	Médiane absolue sigma	Ecart-Type absolue sigma
Distance inter molaire Maxillaire (mm)	0,18	0,30	0,44	0,40	0,30	0,24
Distance inter canine Maxillaire (mm)	0,15	0,20	0,38	0,35	0,30	0,18
Indice de LITTLE Maxillaire (mm)	-0,13	-0,40	1,30	1,00	0,70	0,78
Recouvrement	1,05	0,90	1,62	1,47	1,10	1,21
Surplomb	0,31	0,10	1,33	0,95	0,60	0,94
Distance inter molaire Mandibulaire (mm)	0,22	0,10	0,98	0,65	0,20	0,73
Distance inter canine Mandibulaire (mm)	-0,11	0,00	0,39	0,27	0,20	0,29
Indice de LITTLE Mandibulaire (mm)	-0,29	-0,30	1,01	0,85	0,80	0,56
Différence entre les Maxillaires	0,17	0,11	0,14	0,17	0,11	0,14
Différence entre les Mandibulaires	0,18	0,13	0,12	0,18	0,13	0,12
Différence entre les occlusions	0,35	0,31	0,18	0,35	0,31	0,18
Part Articulaires	0,00	0,03	0,08	0,06	0,05	0,05

Tableau 2 : Tableau de statistiques entre les différences des caractéristiques étudiées de T1 et T2 (les nombres positifs correspondent à une réduction des mesures ; les 4 derniers facteurs sont exprimés en valeur absolue)

Il existe systématiquement une différence entre les moyennes non absolues et absolues, les valeurs pouvant se compenser entre les positives et les négatives.

Les écarts-types sont élevés lorsqu'ils sont comparés aux moyennes et médianes.

Il n'existe pas de différence concernant les valeurs non absolues et absolues pour la différence entre les maxillaires, les mandibules et les occlusions car il s'agit déjà de distances moyennes, donc positives, entre les éléments cités. Seule la part articulaire est sujet à des changements car elle est obtenue mathématiquement avec des valeurs négatives dues à l'imprécision des mesures.

La différence pour l'indice de BALRIDGE n'est pas notée car nous nous intéressons uniquement à lui en tant que facteur prédictif.

Différence entre T1 et T2

Le test de WILCOXON-MANN-WHITNEY a été réalisé afin de voir s'il existait une différence significative entre les paramètres de T1 et de T2. Ce dernier a été renforcé par le test de STUDENT au vu de la taille de l'échantillon.

	DIM Mx	DIC Mx	IdL Mx	Recouvrement	Surplomb	DIM Md	DIC Md	IdL Md
V	48,50	46,00	26,00	53,00	38,50	36,50	8,00	24,50
p-value	0,18	0,27	0,58	0,08	0,66	0,79	0,35	0,48

Tableau 3 : Test de WILCOXON entre les paramètres en phase T1 et T2

	DIM Mx	DIC Mx	IdL Mx	Recouvrement	Surplomb	DIM Md	DIC Md	IdL Md
t	1,36	1,29	-0,32	2,16	0,77	0,74	-0,86	-0,95
p-value	0,20	0,23	0,75	0,06	0,46	0,48	0,41	0,36

Tableau 4 : Test de STUDENT entre les paramètres en phase T1 et T2

Il n'existe aucune différence significative ($\alpha < 0.05$) qui permet d'établir le fait qu'il y ait une modification significative des caractéristiques étudiées entre les phases T1 et T2 bien que le recouvrement ait une p-value assez faible méritant une exploration plus approfondie. D'autant que dans le tableau 12 [Annexe 2], c'est l'élément qui présente la réduction la plus importante entre T1 et T2.

Reproductibilité des résultats

Chaque étude portant sur des analyses effectuées et des mesures est soumise à des biais. Dans ce cas, les biais sont intra-individuels et quantifiables avec un ICC. Chaque mesure a été refaite pour chaque patient, voici ci-dessous les résultats de la relecture :

	T1		T2		T1 + T2	
	ICC	0,95 interval	ICC	0,95 interval	ICC	0,95 interval
DIM Mx	0,938	[0,798;0,983]	0,9	[0,686;0,972]	0,915	[0,81;0,964]
DIC Mx	0,927	[0,764;0,979]	0,925	[0,76;0,979]	0,922	[0,825;0,967]
IdL Mx	0,84	[0,532;0,954]	0,775	[0,382;0,933]	0,799	[0,581;0,911]
Recouvrement	0,835	[0,52;0,952]	0,835	[0,518;0,952]	0,846	[0,669;0,993]
Surplomb	0,757	[0,345;0,927]	0,744	[0,318;0,923]	0,745	[0,485;0,885]
DIM Md	0,879	[0,63;0,965]	0,896	[0,677;0,971]	0,882	[0,741;0,949]
DIC Md	0,911	[0,717;0,975]	0,952	[0,841;0,987]	0,928	[0,837;0,969]
IdL Md	0,965	[0,882;0,99]	0,897	[0,678;0,971]	0,932	[0,847;0,971]
BALRIDGE secteur 1/4	0,989	[0,963;0,997]	X	X	X	X
BALRIDGE secteur 2/3	0,992	[0,972;0,998]	X	X	X	X
Différence maxillaires	X	X	X	X	0,734	[0,297;0,92]
Différence mandibules	X	X	X	X	0,868	[0,6;0,962]
Différence d'occlusions	X	X	X	X	0,863	[0,589;0,961]
Différence articulations	X	X	X	X	0,696	[0,226;0,907]

Tableau 5 : ICC pour chaque caractéristique pour T1, T2 et T1 + T2

Si l'ICC est :

- Inférieur à 0.5, il est faible
- Entre [0.50 ;0.74], il est moyen
- Entre [0.75 ;0.90], il est bon
- Supérieur à 0.90, il est excellent

Les ICC obtenus sont donc bons voire excellent sauf en ce qui concerne le surplomb en T2 et T1+T2 ainsi que la différence entre les maxillaires et la différence entre les parts articulaires qui sont moyens (31).

Corrélation entre les facteurs étudiés

Strength of Association	Positive	Negative
Small	.1 to .3	-0.1 to -0.3
Medium	.3 to .5	-0.3 to -0.5
Large	.5 to 1.0	-0.5 to 1.0

Figure 22 : Interprétation du test de corrélation de PEARSON

Le test de corrélation permet d'obtenir le tableau suivant. Les mesures des éléments étudiés ont été comparées aux modifications occlusales qui en font des facteurs prédictifs aux modifications occlusales.

	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation modéré	Lien de corrélation modéré inversé
Avec les modifications dentaires au maxillaire	DIM maxillaire	DIC maxillaire	Surplomb	X
Avec les modifications dentaires à la mandibule	X	Indice de BALRIDGE secteurs 1/4	DIM mandibulaire DIC mandibulaire Surplomb	X
Avec les modifications occlusales	DIM maxillaire	Indice de BALRIDGE secteurs 1/4	X	X
Avec les modifications articulaire	Indice de BALRIDGE secteurs 1/4 Indice de LITTLE mandibulaire	Surplomb Âge	DIC mandibulaire	Nombre d'ancrage dentaire au niveau des prémolaires

Tableau 6 : Classement des facteurs prédictifs en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type de modifications en résultant.

Un test de corrélation a été effectué avec les différences, pour chaque facteur, entre T1 et T2 et les modifications d'occlusions. Cela permet de savoir si la modification de ces facteurs est impliquée dans les modifications occlusales. Le tableau ci-dessous présente les résultats du test de corrélation entre la différence de T1 et T2 des différents éléments étudiés et les modifications occlusales :

	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation modéré	Lien de corrélation modéré inversé
Avec les modifications dentaires au maxillaire	Différence des indices de LITTLE maxillaire Différence des recouvrements Différences des surplombs	X	X	X
Avec les modifications dentaires à la mandibule	Différence des recouvrements Différence des surplombs	X	X	X
Avec les modifications occlusales	Différence des recouvrements Différence des surplombs	X	Différence des indices de LITTLE maxillaire	X
Avec les modifications articulaires	X	Différence des indices de LITTLE maxillaire Différence des recouvrements Différence des surplombs	X	Différence des DIM mandibulaires

Tableau 7 : Classement des différences entre les facteurs de T1 et T2 en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type modifications en résultant

Le tableau suivant est similaire au précédent. Les modifications occlusales ont été comparées entre elles :

	Modification dentaire maxillaire	Modification dentaire mandibulaire	Modification occlusale	Modification articulaire
Modification dentaire maxillaire	X	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé
Modification dentaire mandibulaire	Lien de corrélation fort	X	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé
Modification occlusale	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort	X	Lien de corrélation fort inversé
Modification articulaire	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation fort inversé	X

Tableau 8 : Classement des liens de corrélation en fonction des modifications occlusales entre T1 et T2

Discussion

Cette étude se base sur l'analyse de modèles numériques afin de trouver un lien de corrélation entre les paramètres et la modification d'occlusion qui résulte du port des OAM. De ce fait, il existe des limites qui diminuent la précision de ce travail.

Comparaison des résultats

Les modifications occlusales obtenues ne correspondent pas à celles trouvées dans d'autres études. L'échantillon étant faible il n'a pas été possible d'obtenir de différences significatives.

Les modifications attendues sont :

- Surplomb et recouvrement : réduction de leur mesure. Les forces entraînent une modification dento-alvéolaire et une de l'axe des incisives. Les incisives maxillaires subissent une palato-version et celles mandibulaires une vestibuloversion (10,12,32)
- Encombrement mandibulaire : il a tendance à se réduire, la vestibulo-version des incisives mandibulaires libérant de la place (19,33)
- Propulsion et abaissement de la mandibule d'un millimètre. Aucune observation d'imagerie ne permet de montrer de changement anatomique de l'ATM. La modification de la part articulaire dans l'occlusion peut être induite par une adaptation musculaire.(34–36)
- DIM : les différentes études ne démontrent pas de changements constants et significatifs (14,15,17,19,37)
- DIC : celle maxillaire n'est pas soumise aux changements. Celle mandibulaire l'est, il n'y a pas de tendance à une augmentation ou à une réduction (14,15,17,19).
- Ancrage dentaire: la réduction du surplomb est fonction du nombre d'ancrage dentaire (33)

Cependant, la p-value pour le recouvrement du test de WILCOXON-MANN-WHITNEY et de STUDENT est faible bien que non significatif.

Seul le lien de corrélation entre les prémolaires mandibulaires et la différence dentaire mandibulaire s'est révélé intéressant. Il n'y a toutefois pas eu d'étude du rapport entre le nombre de prémolaires mandibulaires et la modification de surplomb.

Aucune méthodologie n'a pu être trouvée pour étudier l'implication articulaire dans les modifications occlusales.

Biais et limites

Matériel utilisé

Les données recueillies proviennent des sujets du CHU. Cette étude étant rétroactive, les données recueillies sont celles qui ont été nécessaires à la prise en charge du patient. De ce fait, ce travail d'étude est éthique et non invasif pour les patients. Cependant leurs conditions de prise diffèrent puisque ces données ont été récoltées sur plusieurs années.

L'équipement a changé : au total 3 caméras optiques ont servi avec une différence de précision d'enregistrement, de profondeur de champs et de travail de reconstruction de maillage différents. Ces informations n'ont pas pu être prise en compte au vu de l'échantillon. Cela peut impacter sur la variation spatiale des points comparés. De plus, CloudCompare se base sur les données des modèles et donne des mesures en u.a qui dépendent du document initial.

Il en va de même pour le type d'orthèse, les patients étaient traités soit avec des OAM de type RESMED soit de type NARVAL.

Taille des échantillons

La principale limite de cette étude est la taille de l'échantillon qui est de 11 sujets. Les résultats statistiques qui en découlent ne sont pas conséquents et ne permettent qu'une proposition de résultats. De même, l'étude du sexe n'a pas pu être effectuée étant donné qu'il n'y a que 2 sujets « femme » comparés à 9 « homme ».

Le test de WILCOXON a dû être complété avec le test de STUDENT en l'absence des 30 sujets requis afin de pouvoir renforcer la puissance des résultats. Aucun facteur étudié ne présentait de résultat significatif cependant le recouvrement propose une p-value faible dans les 2 tests. Ce facteur mérite un approfondissement.

Sur les 11 sujets, le sujet numéro 4 présentait des modifications importantes qui impacte les résultats statistiques. A lui seul il est capable de modifier les résultats.

Protocole

Concernant la partie expérimentale en elle-même, la répétition des manipulations a été rigoureuse ce qui permet d'aboutir à l'ICC qui est bon malgré un large intervalle de confiance, l'ICC étant souvent éloigné de la borne inférieure. Ceci a pu être possible grâce à la rigueur de la répétition de la chronologie des étapes de manipulation et au temps passé sur chaque modèle ainsi qu'à la retranscription des données le tout équivalant à une heure et demie de travail.

Lors de la segmentation, les dents ayant eu des modifications entre T1 et T2 (Figure 4 et 5) ou celles ayant une perte de données car impossibilité de capturer leur volume dans leur intégralité (telles les 3èmes molaires) n'ont pas été retenues pour la comparaison des occlusions et des arcades. Un biais est présent suite à cette perte de données.

L'enregistrement du triangle de SLAVICEK est une méthode manuelle donc plus sujette aux erreurs. Des logiciels spécifiquement créés pour l'odontologie sont capables de le mesurer. Cependant, cette méthode est plus précise que la mesure clinique du surplomb et du recouvrement à l'aide d'un pied à coulisse. La céphalométrie entraîne la superposition du BIC donc une mesure moins précise en raison d'une plus grande difficulté pour localiser les différents repères.

La superposition des modèles en occlusion s'est faite à l'aide de 11 landmarks (30). L'utilisation du second rugae palatin comme point de repère aurait été plus intéressant. C'est un point stable dans le temps et qui n'est pas soumis aux modifications occlusales. Cette technique n'a pas été retenue dans notre étude car tous les modèles numériques ne possédaient pas cet élément enregistré.

La précision de la superposition des arcades fusionnées pour étudier la différence d'occlusion totale entre T1 et T2 aurait mérité une répétition des tests afin d'évaluer plus précisément quelle est l'imprécision de cette technique.

Le développement de la technique pour calculer quelle est la part articulaire impliquée dans les modifications occlusales est fiable In Vitro. In Vivo, elle a été, pour 10 des sujets, fiable. Seul un sujet présente une différence d'articulation négative élevée (la part articulaire devrait se retrouver nulle ou positive car les valeurs des différences utilisées sont en valeurs absolues et se retrouve via l'équation « $\Delta\text{Occlusion} = \Delta\text{maxillaire} + \Delta\text{mandibule} + \Delta\text{articulaire}$ »). Cela provient probablement de la difficulté du logiciel à superposer automatiquement le maxillaire qui présente des modifications importantes mais aussi de la superposition des arcades fusionnées à l'aide de landmarks sur le maxillaire. L'accumulation d'imprécision aboutit à cette erreur.

L'apport du calcul de la part articulaire en superposant la mandibule lors de la superposition des arcades fusionnées est à étudier. Cela permettrait de faire une moyenne des superpositions avec le maxillaire ou la mandibule pour référentiel.

Interprétation statistique et résultats

Le test de WILCOXON et STUDENT ne démontrent pas de différence significative entre les caractéristiques étudiées entre T1 et T2. Cependant, plusieurs études démontrent que les éléments subissant le plus de modifications sont le surplomb et le recouvrement qui ont tendance à se réduire.

L'ICC présente de bons résultats cependant, il est à noter qu'il se trouve dans un intervalle de confiance dont la borne inférieure est très variable pouvant même donner un mauvais ICC malgré des bornes supérieures excellentes (exemple : différence entre les maxillaires qui atteint un ICC de 0,297).

Les résultats obtenus sont à relativiser. Le sujet n°4 possède de fortes modifications occlusales qui ont rendu difficile la superposition des arcades et par extension cela entraîne des variations dans les mesures des différences d'occlusion. Lorsque l'on enlève ce sujet à l'ICC, les valeurs, principalement des bornes inférieures, se rapprochent de 1.

De même, lors du test de corrélation de PEARSON, si le sujet n°4 est sorti de l'analyse statistique, les résultats sont moins concluants.

Pour les facteurs prédictifs :

	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation modéré	Lien de corrélation modéré inversé
Avec les modifications dentaires au maxillaire	X	X	X	X
Avec les modifications dentaires à la mandibule	X	Nombre d'ancrage dentaire des prémolaires mandibulaires*	DIC mandibulaire* Indice de LITTLE mandibulaire	X
Avec les modifications occlusales	DIC maxillaire	X	Indice de LITTLE maxillaire DIC mandibulaire Indice de LITTLE mandibulaire	Surplomb
Avec les modifications articulaires	X	X	Indice de LITTLE mandibulaire*	Surplomb* Âge*

Tableau 9 : Classement dans le sujet n°4 des facteurs prédictifs en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type de modifications en résultant

Seuls les éléments présentant un astérisque ont un lien de corrélation qui se retrouve avec ou sans le sujet n°4 bien qu'ils soient diminués.

Pour les différences des caractéristiques entre T1 et T2 avec les modifications occlusales :

	Lien de corrélation fort	Lien de corrélation fort inversé	Lien de corrélation modéré	Lien de corrélation modéré inversé
Avec les modifications dentaires au maxillaire	X	X	Différence des DIC maxillaires Différence des recouvrements*	X
Avec les modifications dentaires à la mandibule	Différence des DIC mandibulaires Différences des recouvrements*	X	X	X
Avec les modifications occlusales	Différence des recouvrements*	X	Différence des DIC maxillaires	Différence ces indices de LITTLE maxillaire*
Avec les modifications articulaires	X	X	X	Différence des DIM mandibulaires* Différence des DIC mandibulaires Différence des indices de LITTLE mandibulaires

Tableau 10 : Classement sans le sujet n°4 des différences entre les facteurs de T1 et T2 en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type modifications en résultant

Le tableau suivant est similaire au précédent. Les modifications occlusales ont été comparées entre elles :

	Modification dentaire maxillaire	Modification dentaire mandibulaire	Modification occlusale	Modification articulaire
Modification dentaire maxillaire	X	Lien de corrélation fort*	Lien de corrélation fort*	Lien de corrélation modéré inversé*
Modification dentaire mandibulaire	Lien de corrélation fort*	X	Lien de corrélation fort*	Lien de corrélation modéré inversé*
Modification occlusale	Lien de corrélation fort*	Lien de corrélation fort*	X	Lien de corrélation faible
Modification articulaire	Lien de corrélation modéré inversé*	Lien de corrélation modéré inversé*	Lien de corrélation faible	X

Tableau 11 : Classement des liens de corrélation en fonction des modifications occlusales entre T1 et T2 sans le sujet n°4

Seuls les éléments présentant un astérisque ont un lien de corrélation qui se retrouve avec ou sans le sujet n°4 bien qu'ils soient diminués.

La présence de ce sujet apporte des modifications importantes dans les résultats. Il est donc nécessaire de développer la technique mise en place afin de pouvoir obtenir une reproductibilité plus fiable notamment sur les modifications occlusales importantes.

Perspectives

Il serait intéressant d'étudier :

- L'impact qu'auraient différentes OAM, avec des mécanismes d'action qui diffèrent, sur les modifications d'occlusion afin de pouvoir choisir plus objectivement le type d'OAM en fonction de l'anatomie du patient et des conséquences possibles
- Le développement de la technique mise en place pour étudier la part articulaire serait intéressant. Il faudrait réaliser des études complémentaires In Vivo et In Vitro afin de pouvoir obtenir un outil reproductible et fiable
- De comparer cette étude avec d'autres dont le protocole d'analyse différerait afin de concevoir un protocole d'une précision plus importante. L'utilisation de logiciels, plus spécifiques, propres au traitement dentaire, serait un atout
- D'augmenter grandement le nombre de patients pourrait être intéressant en réalisant une étude multicentrique.

Conclusion

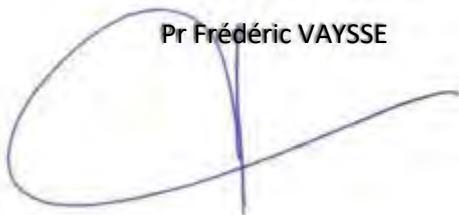
La méthodologie développée étudiant les modifications occlusales est efficace In Vitro quand les modifications sont mineures. Il est possible de séparer l'implication dentaire de celle articulaire dans les modifications occlusales. Lors de son utilisation In Vivo, elle fonctionne essentiellement mais présente des biais trop importants lors de modifications occlusales majeures. Une amélioration de la méthode est nécessaire afin de pouvoir l'utiliser.

L'échantillon est trop faible pour avoir des résultats probants cependant certains éléments sont envisageables comme facteurs prédictifs des modifications :

- La DIC mandibulaire pour la différence entre les mandibules
- Le surplomb pour la différence entre les articulations
- L'indice de LITTLE mandibulaire pour la différence entre les articulations
- Le nombre d'ancrages dentaires des prémolaires mandibulaires pour la différence entre les mandibules
- L'âge et la différence pour la différence des articulations

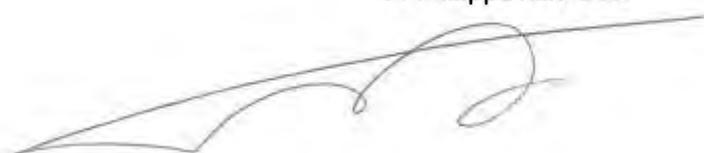
Le directeur de thèse :

Pr Frédéric VAYSSE

A blue ink signature of Frédéric Vaysse, consisting of a large, stylized 'F' followed by a horizontal line extending to the right.

Le président du jury :

Pr Philippe KEMOUN

A blue ink signature of Philippe Kemoun, featuring a long, sweeping horizontal line with several loops and a final flourish.

Bibliographies

1. Punjabi NM. The Epidemiology of Adult Obstructive Sleep Apnea. Proc Am Thorac Soc. 15 févr 2008;5(2):136-43.
2. Haute Autorité de santé.
3. sahos_-_fiche_de_bon_usage.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2023]. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2014-11/sahos_-_fiche_de_bon_usage.pdf
4. Apnée du sommeil - symptômes, causes, traitements et prévention [Internet]. VIDAL. [cité 20 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/voies-respiratoires/apnee-sommeil-sahos.html>
5. Le syndrome d'apnées hypopnées obstructives ... | Fédération Française des Diabétiques [Internet]. [cité 20 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.federationdesdiabetiques.org/information/complications-diabete/apnees-du-sommeil>
6. McCarthy S. Obstructive sleep apnoea linked to increased risk of cancer, a decline in mental processing powers and an increased risk of blood clots [Internet]. ERS - European Respiratory Society. 2022 [cité 20 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.ersnet.org/news-and-features/news/obstructive-sleep-apnoea-linked-to-increased-risk-of-cancer-a-decline-in-mental-processing-powers-and-an-increased-risk-of-blood-clots/>
7. Traitement non invasif par pression positive pour améliorer la dysfonction érectile chez les hommes souffrant du syndrome d'apnées obstructives au cours du sommeil [Internet]. [cité 20 avr 2023]. Disponible sur: https://www.cochrane.org/fr/CD013169/AIRWAYS_traitement-non-invasif-par-pression-positive-pour-ameliorer-la-dysfonction-erectile-chez-les-hommes
8. Recommandations pour la Pratique Clinique. Rev Mal Respir. sept 2010;27(7):806-33.
9. CNEDIMTS-6398_TALI_30_mars_2021_(6398)_avis.pdf [Internet]. [cité 7 mars 2022]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/upload/docs/evamed/CNEDIMTS-6398_TALI_30_mars_2021_\(6398\)_avis.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/evamed/CNEDIMTS-6398_TALI_30_mars_2021_(6398)_avis.pdf)
10. Fleury et al. - 2010 - Traitement du SAHOS par orthèse d'avancée mandibul.pdf [Internet]. [cité 31 août 2022]. Disponible sur: <https://splf.fr/wp-content/uploads/2014/07/SAS2010-4.pdf>
11. Long-term side effects of sleep apnea treatment with oral appliances: nature, magnitude and predictors of long-term changes. Sleep Med. 1 avr 2019;56:184-91.
12. Uniken Venema JAM, Doff MHJ, Joffe-Sokolova DS, Wijkstra PJ, van der Hoeven JH, Stegenga B, et al. Dental side effects of long-term obstructive sleep apnea therapy: a 10-year follow-up study. Clin Oral Investig. 1 sept 2020;24(9):3069-76.

13. 12 Occlusion.pdf [Internet]. [cité 14 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.minia.edu.eg/dent/Files/4th/crown/12%20Occlusion.pdf>
14. Marklund M. Orthodontic side-effects of mandibular advancement devices during treatment of snoring and sleep apnoea. *Eur J Orthod*. 1 avr 2001;23(2):135-44.
15. Rose EC, Staats R, Virchow C, Jonas IE. Occlusal and Skeletal Effects of an Oral Appliance in the Treatment of Obstructive Sleep Apnea. *Chest*. sept 2002;122(3):871-7.
16. Marklund M. Predictors of long-term orthodontic side effects from mandibular advancement devices in patients with snoring and obstructive sleep apnea. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. févr 2006;129(2):214-21.
17. Fransson AMC, Kowalczyk A, Isacsson G. A prospective 10-year follow-up dental cast study of patients with obstructive sleep apnoea/snoring who use a mandibular protruding device. *Eur J Orthod*. 1 oct 2017;39(5):502-8.
18. Alessandri-Bonetti G, D'Antò V, Stipa C, Rongo R, Incerti-Parenti S, Michelotti A. Dentoskeletal effects of oral appliance wear in obstructive sleep apnoea and snoring patients. *Eur J Orthod*. 1 oct 2017;39(5):482-8.
19. Teixeira AO de B, Andrade ALL, Almeida RC da C, Almeida MA de O. Side effects of intraoral devices for OSAS treatment. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2018;84(6):772-80.
20. Garib D, Miranda F, Massaro C, Lauris JRP, Yatabe MS, Janson G, et al. Three-dimensional mandibular dental changes with aging. *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod*. févr 2021;159(2):184-92.
21. Dai FF, Xu TM, Shu G. Comparison of achieved and predicted tooth movement of maxillary first molars and central incisors: First premolar extraction treatment with Invisalign. *Angle Orthod*. sept 2019;89(5):679-87.
22. Camia J. Intérêt des modèles numériques en orthodontie. :76.
23. Accuracy of Tooth Movement with In-House Clear Aligners. *J World Fed Orthod*. 1 déc 2021;10(4):177-82.
24. Hsiu-Hsia Lin, Wen-Chung Chiang, Lun-Jou Lo, Chien-Hsuan Wang. A new method for the integration of digital dental models and cone-beam computed tomography images. In: 2013 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) [Internet]. Osaka: IEEE; 2013 [cité 23 janv 2023]. p. 2328-31. Disponible sur: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6610004/>
25. Ho CT, Lin HH, Lo LJ. Intraoral Scanning and Setting Up the Digital Final Occlusion in Three-Dimensional Planning of Orthognathic Surgery: Its Comparison with the Dental Model Approach. *Plast Reconstr Surg*. mai 2019;143(5):1027e-36e.
26. Landwerlin O, Fages M, Subsol G. A challenge in dental computerised photogrammetry. 1 nov 2019;
27. Al-Rayes N, Hajeer MY. Evaluation of Occlusal Contacts among Different Groups of Malocclusion using 3D Digital Models. *J Contemp Dent Pract*. 18 juin 2014;15:46-55.

28. Genin G. L'orientation du plan d'occlusion mandibulaire en prothèse amovible complète: de la complexité à la pratique quotidienne.
29. Accuracy and Reliability of Digital Models in Measuring Little's Irregularity Index. 2018;8(2).
30. Ghoneima A, Cho H, Farouk K, Kula K. Accuracy and reliability of landmark-based, surface-based and voxel-based 3D cone-beam computed tomography superimposition methods. *Orthod Craniofac Res.* nov 2017;20(4):227-36.
31. Coefficient de Corrélation Intra-classe Dans R: Meilleure Référence [Internet]. Datanovia. [cité 5 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.datanovia.com/en/fr/lessons/coefficient-de-correlation-intra-classe-dans-r/>
32. Laborde A, Tison C, Drumez E, Garreau E, Ferri J, Raoul G. Dentoskeletal sequelae after wearing of a mandibular advancement device in an OSAHS setting. *Int Orthod.* juin 2017;15(2):251-62.
33. Minagi HO, Okuno K, Nohara K, Sakai T. Predictors of Side Effects With Long-Term Oral Appliance Therapy for Obstructive Sleep Apnea. *J Clin Sleep Med JCSM Off Publ Am Acad Sleep Med.* 15 janv 2018;14(1):119-25.
34. Bondemark L. Does 2 years' nocturnal treatment with a mandibular advancement splint in adult patients with snoring and OSAS cause a change in the posture of the mandible? *Am J Orthod Dentofac Orthop Off Publ Am Assoc Orthod Its Const Soc Am Board Orthod.* déc 1999;116(6):621-8.
35. Heidsieck DSP, Koolstra JH, de Ruyter MHT, Hoekema A, de Lange J. Biomechanical effects of a mandibular advancement device on the temporomandibular joint. *J Cranio-Maxillo-fac Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-fac Surg.* févr 2018;46(2):288-92.
36. Knappe SW, Bakke M, Svanholt P, Petersson A, Sonnesen L. Long-term side effects on the temporomandibular joints and oro-facial function in patients with obstructive sleep apnoea treated with a mandibular advancement device. *J Oral Rehabil.* mai 2017;44(5):354-62.
37. Pliska BT, Nam H, Chen H, Lowe AA, Almeida FR. Obstructive sleep apnea and mandibular advancement splints: occlusal effects and progression of changes associated with a decade of treatment. *J Clin Sleep Med JCSM Off Publ Am Acad Sleep Med.* 15 déc 2014;10(12):1285-91.

Annexes

Annexe 1 : Algorithme utilisé et créé afin de déterminer la distance la plus courte entre un point placé et un plan. Cela a permis d'avoir l'indice de BALRIDGE :

```
import numpy as np
A=np.array([0., 0., 0.])
B=np.array([0., 0., 0.])
C=np.array([0., 0., 0.])
P=np.array([0., 0., 0.])
print('Quels sont les coordonnées du premier point du plan ?')
A[0]=input('x=')
A[1]=input('y=')
A[2]=input('z=')
print('Quels sont les coordonnées du deuxième point du plan ?')
B[0]=input('x=')
B[1]=input('y=')
B[2]=input('z=')
print('Quels sont les coordonnées du troisième point du plan ?')
C[0]=input('x=')
C[1]=input('y=')
C[2]=input('z=')
U1=B-A
U2=C-A
N=np.array([U1[1]*U2[2]-U1[2]*U2[1],
            U1[2]*U2[0]-U1[0]*U2[2],
            U1[0]*U2[1]-U1[1]*U2[0]])
i=1
n=input('combien de point voulez vous calculer la distance au plan ?')
n=int(n)
while i<=n:

    print('Quels sont les coordonnées du point', i, '?')
    P[0]=input('x=')
```

```
P[1]=input('y=')
P[2]=input('z=')
V=P-A
t=-(N@V)/(N@N)
distance=abs(t)*(N@N)**(1/2)
print(distance)
i+=1
```

Annexe 2 :

SUIJET		1T1	1T2	2T1	2T2	3T1	3T2	4T1	4T2	5T1	5T2	6T1	6T2	7T1	7T2	8T1	8T2	9T1	9T2	10T1	10T2	11T1	11T2
Caractéristiques																							
Distance inter molaire Maxillaire		52.8	52.5	45.1	45.3	44.2	43.8	51.5	51.2	47.3	46.9	48.6	48.3	44.4	44.2	47.7	48.4	44.8	45.1	45.7	45.4	49	48
Distance inter canine Maxillaire		34.7	34.3	37.5	37.8	31.8	32.2	33.1	32.7	29.8	29.6	30.7	30.1	34.3	34.1	37	36.3	35.4	35.2	32.6	32.9	37.8	37.9
Indice de LITTLE Maxillaire		6	5.1	6.4	6.8	3.1	3.5	4.1	1.5	7.9	9.5	2.3	2.6	2.5	3.2	6.4	6.9	4.1	4.4	-4.9	-2.9	3.7	2.4
Recouvrement		7.4	5.1	3.2	0.8	3	2.1	5.4	1.2	3.5	3.6	4.7	2.5	5.2	6.6	3.6	2.5	3.7	2.9	2	2.5	2.6	2.9
Suplomb		4.4	6.3	4	3.4	4.4	4.6	5.6	2.7	4.9	5.5	2.7	2.6	5.2	3.2	3.7	2.5	3.5	4.2	4.3	4.4	5.4	5.3
Distance inter molaire Mandibulaire		49.2	49.3	39.5	40.4	44.6	43.8	38.8	39.8	45.2	42.7	41.3	40.2	38.8	38.7	42	42.2	38.4	38.6	39.2	39.1	41.9	41.7
Distance inter canine Mandibulaire		23.8	23.8	25.7	26.5	22.7	23	25.9	26	24.6	24.6	24.3	24.3	24.5	23.8	26.5	26.9	23.4	23.4	23.6	24	27.7	27.5
Indice de LITTLE Mandibulaire		12.1	11	9.3	10	3.5	4.6	0.4	-0.4	2.5	4.8	2.6	3.4	5.4	4.9	6.7	6	6.6	6.8	2.7	3.6	4.42	4.7
Indice de BAIRDGE secteur 1/4		-3.6	-3.7	0.6	0.8	1.1	1	-4	-5.2	-1.1	-1.5	-1.8	-1.7	-0.7	-0.9	-1.3	-1.3	0.6	0.4	0.5	0.3	-0.7	-0.6
Indice de BAIRDGE secteur 2/3		-3.1	-3.2	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-2	-1.7	-2.7	-3.1	-1.3	-1.1	-0.1	-0.6	-2.7	-2.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.9	-1	-0.8
Nombre Ancre Molaire Maxillaire		6	6	4	4	6	6	5	5	4	4	6	6	6	6	4	4	4	4	5	5	6	6
Nombre Ancre Prémoilaire Maxillaire		4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4
Nombre Ancre Canine Maxillaire		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nombre Ancre Incisive Maxillaire		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Nombre Ancre Molaire Mandibulaire		6	6	4	4	6	6	6	6	4	4	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	5	5
Nombre Ancre Prémoilaire Mandibulaire		4	4	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4
Nombre Ancre Canine Mandibulaire		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nombre Ancre Incisive Mandibulaire		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Différence entre les Maxillaires		0.11		0.21	0.08	0.08	0.08	0.57	0.15	0.15	0.20	0.09	0.19	0.09	0.19	0.19	0.19	0.04	0.04	0.11	0.11	0.14	
Différence entre les Mandibulaires		0.10		0.24	0.10	0.10	0.10	0.46	0.09	0.13	0.13	0.13	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	
Différence entre les occlusions		0.31		0.47	0.24	0.24	0.24	0.85	0.23	0.17	0.35	0.17	0.37	0.17	0.37	0.37	0.37	0.28	0.28	0.25	0.25	0.31	
Différence entre les articulations		0.10		0.03	0.06	0.06	0.06	-0.19	-0.02	-0.06	0.02	-0.06	0.04	-0.06	0.04	0.04	0.04	0.17	0.17	0.05	0.05	0.05	
Age		44		46	53	53	53	64	53	53	59	43	59	43	39	39	37	37				38	
Sexe		H		H	H	F	F	H	H	F	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

Tableau 12 : Tableau des données brutes

Annexe 3 :

Caractéristiques	DM/Mx	DIC/Mx	Indice de LITTLE/Mx	Recouvrement	Surplomb	DIM/Md	DIC/Md	Indice LITTLE/Md	Différence Maxillaires	Différence Mandibules	Différence Occlusion	Différence Articulations
Sujets												
1	0,3	0,4	0,9	2,3	-1,9	-0,1	0	1,1	0,11	0,10	0,31	0,10
2	-0,2	-0,3	-0,4	2,4	0,6	-0,9	-0,8	-0,7	0,21	0,24	0,47	0,08
3	0,4	-0,4	-0,4	0,9	-0,2	0,8	-0,3	-1,1	0,08	0,10	0,24	0,06
4	0,3	0,4	2,6	4,2	2,9	-1	-0,1	0,8	0,57	0,46	0,85	-0,19
5	0,4	0,2	-1,6	-0,1	-0,6	2,5	0	-2,3	0,09	0,15	0,23	-0,02
6	0,3	0,6	-0,3	2,2	0,1	1,1	0	-0,8	0,20	0,13	0,35	0,02
7	0,2	0,2	-0,7	-1,4	2	0,1	0,7	0,5	0,09	0,13	0,17	-0,06
8	-0,7	0,7	-0,5	1,1	1,2	-0,2	-0,5	0,7	0,19	0,15	0,37	0,04
9	-0,3	0,2	-0,3	0,8	-0,7	-0,2	0	-0,2	0,04	0,33	0,28	-0,09
10	0,3	-0,3	-2	-0,5	-0,1	0,1	-0,4	-0,9	0,11	0,09	0,25	0,05
11	1	-0,1	1,3	-0,3	0,1	0,2	0,2	-0,3	0,14	0,11	0,31	0,05

Tableau 13 : Tableau des différences des mesures entre T1 et T2

Tableaux comprenant les résultats des facteurs prédictifs :

Code couleur :

: lien de corrélation fort ou fort et inversé

: lien de corrélation modéré ou modéré inversé

: lien de corrélation restant fort ou fort inversé avec ou sans le sujet n°4

: lien de corrélation restant ou devenant modéré ou modéré inversé sans le sujet n°4

	DIM Mx/Diff Mx	DIC Mx/Diff Mx	IdL Mx/Diff Mx	Recouvrement/Diff Mx	Surplomb/Diff Mx
t	1,87	-0,20	0,42	0,77	1,07
Coefficient Corrélation	0,53	-0,66	0,14	0,25	0,34

Tableau 14 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les maxillaires de phase T1 et T2 (facteur prédictif)

	DIM Md/Diff Md	DIC Md/Diff Md	IdL Md/Diff Md	Recouvrement/Diff Md	Surplomb/Diff Md
t	-1,14	1,31	-0,90	0,78	1,19
Coefficient Corrélation	-0,36	0,40	-0,29	0,25	0,37

Tableau 15 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les mandibules de phase T1 et T2 (facteur prédictif)

	DIM Mx/Diff Occ	DIC Mx/Diff Occ	IdL Mx/Diff Occ	Recouvrement/Diff Occ	Surplomb/Diff Occ	DIM Md/Diff Occ	DIC Md/Diff Occ	IdL Md/Diff Occ
t	1,80	0,35	0,53	0,75	0,70	-0,87	1,36	-0,74
Coefficient Corrélation	0,51	0,12	0,17	0,24	0,23	-0,28	0,41	-0,24

Tableau 16 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les occlusions de phase T1 et T2 (facteur prédictif)

	DIM Mx/Diff Art	DIC Mx/Diff Art	IdL Mx/Diff Art	Recouvrement/Diff Art	Surplomb/Diff Art	DIM Md/Diff Art	DIC Md/Diff Art	IdL Md/Diff Art
t	-0,84	0,84	-0,11	-0,66	-2,09	0,83	-1,11	2,06
Coefficient Corrélation	-0,27	0,27	-0,04	-0,21	-0,57	0,27	0,35	0,57

Tableau 17 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les parts articulaires de phase T1 et T2 (facteur prédictif)

	IdB1/4 / Diff Md	IdB1/4 / Diff Occ	PPP1/4 Diff Art	IdB2/3 / Diff Md	IdB2/3 / Diff Occ	IdB2/3 Diff Art
t	-1,81	-2,05	1,77	-0,25	-0,65	0,17
Coefficient Corrélation	-0,85	-0,56	0,51	-0,08	-0,21	0,06

Tableau 18 : Corrélation entre différents paramètres et l'indice de BALRIDGE de phase T1 (facteur prédictif)

Tableaux comprenant les résultats de l'impact des différences des facteurs étudiés sur les modifications occlusales :

Code couleur :

: lien de corrélation fort ou fort et inversé

: lien de corrélation modéré ou modéré inversé

: lien de corrélation restant fort ou fort inversé avec ou sans le sujet n°4

: lien de corrélation restant ou devenant modéré ou modéré inversé sans le sujet n°4

	DIM Mx/Diff Mx	DIC Mx/Diff Mx	IdL Mx/Diff Mx	Recouvrement/Diff Mx	Surplomb/Diff Mx
t	-0,19	0,85	2,32	3,85	2,17
Coefficient Corrélation	-0,06	0,27	0,61	0,79	0,59

Tableau 19 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les maxillaires de phase T1 et T2

	DIM Md/Diff Md	DIC Md/Diff Md	IdL Md/Diff Md	Recouvrement/Diff Md	Surplomb/Diff Md
t	0,48	0,34	-0,30	4,75	2,56
Coefficient Corrélation	0,16	0,11	-0,10	0,85	0,65

	DIM Md/Diff Md	DIC Md/Diff Md	IdL Md/Diff Md	Recouvrement/Diff Md	Surplomb/Diff Md
t	0,10	2,99	-0,49	2,13	0,20
Coefficient Corrélation	0,04	0,73	-0,17	0,60	0,07

Tableau 20 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les mandibules de phase T1 et T2 (en haut avec le sujet n°4, en bas sans)

	DIM Mx/Diff Occ	DIC Mx/Diff Occ	IdL Mx/Diff Occ	Recouvrement/Diff Occ	Surplomb/Diff Occ	DIM Md/Diff Occ	DIC Md/Diff Occ	IdL Md/Diff Occ
t	-0,24	0,83	1,69	4,54	2,01	0,41	-0,25	-0,39
Coefficient Corrélation	-0,08	0,27	0,49	0,83	0,56	0,14	-0,08	-0,13

Tableau 21 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les occlusions de phase T1 et T2

	DIM Mx/Diff Art	DIC Mx/Diff Art	IdL Mx/Diff Art	Recouvrement/Diff Art	Surplomb/Diff Art	DIM Md/Diff Art	DIC Md/Diff Art	IdL Md/Diff Art
t	0,45	-0,21	-2,42	-2,07	-2,24	-1,18	-0,42	-0,63
Coefficient Corrélation	0,15	-0,07	-0,63	-0,57	-0,60	-0,36	-0,14	-0,21

	DIM Mx/Diff Art	DIC Mx/Diff Art	IdL Mx/Diff Art	Recouvrement/Diff Art	Surplomb/Diff Art	DIM Md/Diff Art	DIC Md/Diff Art	IdL Md/Diff Art
t	0,19	0,04	-0,65	0,04	-0,44	-1,18	-1,45	-1,09
Coefficient Corrélation	0,07	0,01	-0,22	0,01	-0,16	-0,39	-0,46	-0,36

Tableau 22 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les parts articulaires de phase T1 et T2 (en haut avec le sujet n°4, en bas sans)

	Diff Mx/Diff Md	Diff Mx/Diff Occ	Diff Mx/Diff Art	Diff Md/Diff Occ	Diff Md/Diff Art	Diff Occ/Diff Art
t	9,90	9,34	-4,19	9,56	-3,85	-2,40
Coefficient Corrélation	0,96	0,95	-0,81	0,95	-0,79	-0,63

	Diff Mx/Diff Md	Diff Mx/Diff Occ	Diff Mx/Diff Art	Diff Md/Diff Occ	Diff Md/Diff Art	Diff Occ / Diff Art
t	2,95	2,93	-1,34	3,15	-1,02	0,67
Coefficient Corrélation	0,72	0,72	-0,43	0,74	-0,34	0,23

Tableau 23 : Corrélation entre les différences maxillaires, mandibulaires, d'occlusion et des parts articulaires (en haut avec le sujet n°4, en bas sans)

Table des figures et des tableaux

Figure 1 : Empreinte T1 (Gauche) et T2 (Droite).....	17
Figure 2 : Segmentation de la partie gingivale non retenue (Gauche) en utilisant l'outil "segment out" (Droite). Opération à répéter jusqu'à obtention de la partie dentaire restante uniquement.....	18
Figure 3 : Arcade en occlusion après segmentation.....	18
Figure 4 : T1 et T2 présentant une différence de données sur la 11	18
Figure 5 : Segmentation de la 11 (à réaliser sur T1 et T2) pour pouvoir comparer les dents ayant subies des modifications induites uniquement par l'OAM et non par restauration ou détérioration	18
Figure 6 : Apposition des points de repères pour le plan d'occlusion et création de ce dernier	19
Figure 7 : Placement du point inter-molaire et inter-incisif.....	20
Figure 8 : Placement du plan sagittal ayant pour centre le point inter-molaire	20
Figure 9 : Triangle de SLAVICEK.....	21
Figure 10 : Visualisation du plan d'occlusion et du plan sagittal en vue frontale ..	21
Figure 11 : Segmentation de l'arcade maxillaire et mandibulaire en passant par le plan sagittal	21
Figure 12 : Vue transversale des arcades segmentées	22
Figure 13 : Placement du rectangle sur les repères	22
Figure 14 : Placement du triangle de SLAVICEK	23
Figure 15 : Mesure de la distance inter-molaire mandibulaire (76-46)	23
Figure 16 : Mesure de la distance inter-canine mandibulaire	24
Figure 17: mesure de l'indice de LITTLE mandibulaire	24
Figure 18 : Indice de BALRIDGE (il correspond à la double flèche).....	25
Figure 19 : Placement du point le plus éloigné du plan d'occlusion pour calculer l'indice de BALRIDGE	25
Figure 20: Différence entre l'occlusion de A et C avec histogramme (en rouge et bleu sont représentés les déplacements les plus extrêmes)	27
Figure 21 : Tableur de calcul de la Class, de la moyenne, de la moyenne absolue et de la distance moyenne en u.a entre les 2 modèles (exemple issu du traitement de la différence d'occlusion entre A et C)	28
Figure 22 : Interprétation du test de corrélation de PEARSON	34

Tableau 1 : Comparaison des arcades modifiées (A, B et D) à leur homologue contrôle (C). La comparaison des maxillaires, des mandibules et des arcades fusionnées est obtenue via une manipulation de CloudCompare™. La part articulaire est obtenue mathématiquement	29
Tableau 2 : Tableau de statistiques entre les différences des caractéristiques étudiées de T1 et T2 (les nombres positifs correspondent à une réduction des mesures ; les 4 derniers facteurs sont exprimés en valeur absolue	32
Tableau 3 : Test de WILCOXON entre les paramètres en phase T1 et T2	33
Tableau 4 : Test de STUDENT entre les paramètres en phase T1 et T2.....	33
Tableau 5 : ICC pour chaque caractéristique pour T1, T2 et T1 + T2	34
Tableau 6 : Classement des facteurs prédictifs en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type de modifications en résultant.	35
Tableau 7 : Classement des différences entre les facteurs de T1 et T2 en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type modifications en résultant	36
Tableau 8 : Classement des liens de corrélation en fonction des modifications occlusales entre T1 et T2	37
Tableau 9 : Classement dans le sujet n°4 des facteurs prédictifs en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type de modifications en résultant	42
Tableau 10 : Classement sans le sujet n°4 des différences entre les facteurs de T1 et T2 en fonction de l'intensité du lien de corrélation et de leur influence sur le type modifications en résultant.....	43
Tableau 11 : Classement des liens de corrélation en fonction des modifications occlusales entre T1 et T2 sans le sujet n°4	44
Tableau 12 : Tableau des données brutes	52
Tableau 13 : Tableau des différences des mesures entre T1 et T2	53
Tableau 14 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les maxillaires de phase T1 et T2 (facteur prédictif).....	54
Tableau 15 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les mandibules de phase T1 et T2 (facteur prédictif)	54
Tableau 16 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les occlusions de phase T1 et T2 (facteur prédictif).....	54
Tableau 17 : Corrélation entre différents paramètres et la différence entre les parts articulaires de phase T1 et T2 (facteur prédictif)	54

Tableau 18 : Corrélation entre différents paramètres et l'indice de BALRIDGE de phase T1 (facteur prédictif).....	54
Tableau 19 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les maxillaires de phase T1 et T2	55
Tableau 20 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les mandibules de phase T1 et T2 (en haut avec le sujet n°4, en bas sans).....	55
Tableau 21 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les occlusions de phase T1 et T2	55
Tableau 22 : Corrélation entre la différence des paramètres en valeur absolue et la différence entre les parts articulaires de phase T1 et T2 (en haut avec le sujet n°4, en bas sans).....	55
Tableau 23 : Corrélation entre les différences maxillaires, mandibulaires, d'occlusion et des parts articulaires (en haut avec le sujet n°4, en bas sans).....	56

Evaluation des modifications occlusales suite au port d'une orthèse d'avancée mandibulaire dans la prise en charge des apnées du sommeil : méthodologie

Résumé :

La prise en charge du SAHOS à l'aide d'orthèse d'avancée mandibulaire entraîne des modifications occlusales. Le but de ce travail est de développer une méthodologie afin de pouvoir évaluer les modifications occlusales et connaître la part impliquée de ses deux composantes : articulaire et dentaire. Des liens de corrélations ont été établies permettant une meilleure compréhension de ces modifications occlusales. Un affinement de cette technique et une application avec un échantillon plus important seraient nécessaires pour apporter des résultats plus conséquents.

Title: Evaluation of occlusal changes following the use of a mandibular advancement orthosis in the medical care of sleep apnea: methodology

Summary: Occlusal changes occur when patients with OSA are treated with mandibular advancement orthoses. The aim of this study was to develop a methodology for assessing occlusal modifications, and to determine the extent to which both articular and dental components are involved. Correlations were established, enabling a better understanding of these occlusal modifications. Further refinement of this technique and application to a larger sample would be necessary to provide more consistent results.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : SAHOS, OAM, modifications occlusales, modifications articulaires, modifications dentaires, méthodologie, technique de comparaison, lien de corrélation, CloudCompare, STL, étude In Vitro, étude In Vivo, modifications virtuelles, algorithme indice de BALRIDGE.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de santé – Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers
31062 Toulouse Cedex09

Directeur de thèse : Pr Frédéric VAYSSE