



HAL
open science

Apport des outils numériques dans la consultation occlusale : présentation d'un protocole de validation et implications cliniques

Romain Lequien

► **To cite this version:**

Romain Lequien. Apport des outils numériques dans la consultation occlusale : présentation d'un protocole de validation et implications cliniques. Médecine humaine et pathologie. 2024. dumas-04706632

HAL Id: dumas-04706632

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04706632v1>

Submitted on 23 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ COTE D'AZUR
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE
5, rue du 22^e BCA, 06300 Nice

**Apport des outils numériques dans la consultation occlusale :
Présentation d'un protocole de validation
et implications cliniques**

Année 2024

Thèse n° 42-57-24-22

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue
devant la Faculté de Chirurgie Dentaire de Nice
Le 21 Mai 2024

Par

Monsieur Romain LEQUIEN

Né(e) le 13/10/1998 à Colmar

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE (Diplôme d'État)

Examineurs :

Madame le Professeur
Monsieur le Docteur
Monsieur le Docteur
Madame le Docteur
Monsieur le Docteur

Laurence LUPI
Eric LEFORESTIER
Romain CEINOS
Catherine PESCI-BARDON
Gérard DUMINIL

Président du jury
Directeur de thèse
Assesseur
Assesseur
Membre invité

CORPS ENSEIGNANT

MAJ : 01/11/23

56ème section : DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

Sous-section 01 : ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE ET ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Professeur des Universités

Mme CHARAVET Carole
Mme JOSEPH Clara

Maitre de Conférences des Universités

Mme AIEM TORT-ALVAREZ Elody
Mme MASUCCI Caterina

Maitre de Conférences des Universités Associé

Mme OUEISS Arlette

Chefs de Clinique Assistants

M. ECALLE Corentin
Mme LAMBERTS Johanna

Attachés

M. CAMIA Julien
Mme DEVILLE Clara
M. OROSCO Philippe

Sous-section 02 : PREVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LEGALE

Professeur des Universités

Mme LUPI Laurence

Maitre de Conférences des Universités

Mme BORSA Leslie
Mme MERIGO Elisabetta

Chefs de Clinique Assistants

Mme PETITII Marine

Attachés

M. BARBRY Ludovic
M. GLACHANT Didier
M. TOLLIA Gérard

57ème section : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Sous-section 01 : CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

Professeur des Universités

Mme DRIDI Sophie Myriam
Mme PRECHEUR-SABLAYROLLES Isabelle
Mme VINCENT-BUGNAS Séverine

Maitre de Conférences des Universités

M. COCHAIS Patrice
Mme RAYBAUD Héléne
Mme VOHA Christine

Chefs de Clinique Assistants

M. AMELINE Clément
M. BONNICI Quentin
Mme DEMES Estelle
M. GAUDARD Mathias
Mme GUILLOU Estelle

Attachés

M. GEMMI Thomas
M. GUIGON Michael
M. NACACHE Stéphane

58ème section : REHABILITATION ORALE

Sous-section 01 : DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONCTION, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur des Universités

Mme BERTRAND Marie-France
Mme BRULAT-BOUCHARD Nathalie
Mme EHRMANN Elodie
Mme LASSAUZAY Claire

Professeur des Universités Associé

M. DOUGHAN Bassel

Professeur des Universités Emérite

M. ROCCA Jean-Paul

Maitre de Conférences des Universités

M. CEINOS Romain
M. LAPLANCHE Olivier
M. LEFORESTIER Eric
M. MAILLE Gérard
Mme POUYSSEGUR-ROUGIER Valérie

Chefs de Clinique Assistants

Mme BERNABEU Marie
Mme BONNES Anaïs
M. CEPPON Franck
Mme CHAMBON Pauline
Mme DUBOIS Margaux
M. GIRODENGOU Alexandre
Mme TEISSEIRE Lise

Attachés

M. ATTAL Bruno
M. PICOT Robin
M. PONCHET Yves
M. WAREMBOURG Philippe

Remerciements

A Madame la Présidente, le Professeur LUPI Laurence

Professeur des Universités- Praticien hospitalier
Département de Prévention, Épidémiologie, Économie de la santé, Odontologie légale

Je tiens avant tout à vous exprimer ma profonde gratitude pour votre engagement inébranlable envers notre faculté, en tant que doyenne. Vos compétences en gestion sont indéniables, mais c'est surtout votre humanité et votre empathie qui vous distinguent. Vous êtes un modèle de réussite professionnelle, personnelle et familiale, qui m'inspire profondément. C'est un honneur pour moi que vous acceptiez de présider ce jury, non seulement pour votre expertise, mais aussi pour les valeurs que vous incarnez. J'espère avoir le plaisir de vous revoir bientôt.

A Monsieur le Directeur de thèse, le Docteur LEFORESTIER Éric

Maitre de Conférence- Praticien hospitalier et libéral
Département de Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

Je souhaite, à travers ce travail, vous exprimer le profond respect et l'admiration que je porte à votre expérience professionnelle et votre personne. En tant qu'enseignant dévoué, vous avez toujours su entretenir des relations respectueuses et chaleureuses avec vos étudiants. Vous avez fait de mon parcours universitaire un chemin paisible et m'avez convaincu que j'étais à ma place. Merci de m'avoir tant accompagné et soutenu avec gentillesse, sérieux et légèreté, aussi. Vous m'avez toujours prodigué de bienveillants conseils qui résonnent encore dans ma tête. Je vous prie d'accepter la profonde reconnaissance que je vous porte.

A Monsieur le Docteur CEINOS Romain

Maitre de Conférence- Praticien hospitalier
Département de Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

Je n'ai jamais caché mon souhait de vous voir siéger dans ce jury, et vous m'en faites l'honneur aujourd'hui, malgré votre planning surchargé. Premier enseignant que j'ai rencontré dans mon parcours, et pas des moindres.

Votre éloquence, pédagogie et talent font de vous un enseignant « grand cru » comme les vins que vous appréciez déguster. Merci de m'avoir transmis de votre passion mais également de montrer que ce domaine sait se concilier avec des moments de rigolade et de légèreté tout en maintenant un niveau d'excellence. Vous demeurez un modèle à suivre, et j'espère pouvoir continuer à évoluer à vos côtés.

A Madame le Docteur PESCI-BARDON Catherine

Praticien hospitalier

J'aimerais commencer par vous dire en toute simplicité à quel point j'ai été content d'avoir croisé votre chemin et d'avoir pu apprendre à vos côtés. Votre expérience clinique a donné du sens à mon parcours et à ma pratique. Mais bien plus que ça, merci pour ces moments de partage, votre bonne humeur à toutes épreuves qui égayait nos vacances d'urgence malgré les conditions pas toujours réunies. Votre force et personnalité manqueront, je suis véritablement reconnaissant d'avoir eu l'opportunité de bénéficier de votre présence. Pour l'image que vous m'avez laissé et que vous laisserez à ce CHU, vous êtes mon jury de cœur, et je vous remercie à nouveau d'avoir acceptée d'y siéger.

A Monsieur le Docteur DUMINIL Gérard

Praticien libéral

Bien plus qu'un membre invité de ce jury, vous êtes à l'origine même de ce travail. Vous incarnez une passion pour votre métier qui ne s'éteint pas, et je dois dire que cela m'inspire et force le respect. Durant ces longues journées et mois passés ensemble, vous avez su m'accompagner. Même au bout du monde, dans mon périple sur l'île de la Réunion, vous m'avez inscrit à une conférence qui se déroulait sur ce petit caillou. Votre pédagogie, bienveillance et disponibilité m'a profondément aidé à arriver au bout de ce travail et aura marqué pour toujours mon parcours. Je vous suis reconnaissant pour votre dévouement à élargir mes horizons et à m'encourager à repousser mes limites, tout cela dans des moments empreints de convivialité qui vous caractérisent. Et je n'oublierai pas cette phrase : « on se doit de transmettre ».

A Madame le Docteur POUYSSEGUR-ROUGER Valérie

Maitre de Conférence- Praticien hospitalier

Département de Dentisterie restauratrice, Endodontie, Prothèses, Fonction-dysfonction, Imagerie, Biomatériaux

Votre implication et votre accompagnement ont été un pilier essentiel dans mon parcours. Vous avez dépassé le simple rôle d'enseignante pour devenir une source de soutien dans de nombreux aspects de ma vie, et pour cela, je vous en suis sincèrement reconnaissant. Votre engagement et votre disponibilité envers les étudiants démontrent un profond respect pour votre métier et une véritable passion pour le partage du savoir.

Un grand merci à

Mes parents

Comment vous exprimer toute l'admiration et tout l'amour que je vous porte ? Vous êtes pour moi, un modèle de réussite personnelle, professionnelle et familiale. Je suis fier et heureux d'avoir des parents qui transpirent l'amour et la générosité. Je ne vous dirai jamais suffisamment merci.
(Comme quoi, tout a commencé par un livre, papa...)

Mon frère

Quel fierté et joie de nous voir évoluer sur nos chemins respectifs. Je suis tellement heureux que tu aies trouvé ta voie, ta passion. Chaque étape franchie, chaque défi relevé, est le reflet de notre détermination et de notre persévérance. Nos plus beaux moments restent à venir, et j'ai hâte de les vivre.

Ma mamie Thérèse

Tu représentes bien plus qu'une grand-mère pour moi ; tu es mon modèle de bienveillance et de gentillesse. Depuis toujours, tu es présente à mes côtés, et ton soutien n'a jamais faibli, même aujourd'hui. Les moments de bonheur que nous avons partagés sont des trésors que je chérirai toujours. Je te suis infiniment reconnaissant pour tout ce que tu m'as donné, et je te dis un immense merci.

Mes chères amies Média et Sarah

Notre histoire s'écrit ensemble depuis le début. Votre présence aujourd'hui reflète l'accomplissement de ces années passées ensemble et l'amorce de celles qui arrivent.

Mes amis chers de promotion

Ces amitiés du départ

Raphael, Arthur, Lisa, Lustine, Orlane, Sonia, Ellena, Amandine

Ce trio de Juicy colocataires

Hugo et Corentin

Et ces amitiés qui se sont construites et qui sont profondément ancrées dans mon cœur

Eva, Yaël, Héloïse, Tom, Annamaria

Merci à vous pour avoir embelli ces années passées ensemble. Chacun de ces instants que nous avons vécus ensemble ou plus intimement sont gravés dans ma mémoire. J'espère sincèrement pouvoir vous garder près de moi et continuer à créer ensemble de merveilleux souvenirs.

Ces amitiés qui ont dépassé les promotions

Clotilde, Marie-No, Noa, Theo, Charlotte

Je suis tellement heureux de ce lien créé entre promotions, et entre nous, je suis sûr que cela perdurera.

Mes amis de l'île intense

Alice, Sarah, Nico et Thomas

Une rencontre tellement chère à mes yeux et qui est arrivée à un moment si crucial de ma vie.

Merci pour ces moments que je ne pourrai jamais oublier.

Table des matières

INTRODUCTION.....	9
I. NOTIONS FONDAMENTALES.....	10
1. Bases de l'occlusion.....	10
1.1. Morphologie coronaire et occlusale.....	10
1.2. Organisation spatiale des arcades dentaires.....	11
1.3. Les positions de référence.....	11
1.3.1. L'OIM (Occlusion d'Intercuspidie Maximale).....	11
1.3.2. L'ORC (Occlusion en Relation Centrée).....	12
1.4. Concept de normalité occlusale.....	13
1.4.1. Normocclusion = OIM idéale.....	13
1.4.2. Occlusion physiologique.....	13
1.4.3. Malocclusion pathogène.....	13
2. Cinématique mandibulaire et fonctions occlusales.....	13
2.1. L'ouverture/fermeture.....	14
2.2. La propulsion mandibulaire et guide antérieur.....	14
2.3. La diduction mandibulaire.....	15
3. Implication clinique.....	16
II. CONSULTATION OCCLUSALE : EVOLUTION DES PARADIGMES.....	17
1. Approche conventionnelle dans l'examen de l'occlusion.....	17
1.1. Consultation occlusale.....	17
1.2. Évolution des techniques et matériels en occlusion.....	18
1.2.1. Les indicateurs qualitatifs.....	18
1.2.2. Les indicateurs quantitatifs.....	18
1.3. Avantages et limites du papier d'occlusion.....	20
1.3.1. Avantages.....	20
1.3.2. Limites.....	20
2. L'ère numérique en occlusion.....	20
2.1. Emergence du numérique en dentisterie.....	20
2.2. Méthode numérique : scepticisme et besoin de validation.....	21
III. PROTOCOLE COMACCO : VALIDATION DE L'OCCLUSION NUMERIQUE.....	22
1. Contextualisation du projet d'étude.....	22
2. Moyens et méthodes.....	22
2.3. Moyens.....	22
2.3.1. Population d'étude.....	22

2.3.2.	Identification des chercheurs participants.....	23
2.3.3.	Matériaux et équipements.....	23
2.4.	Méthodes.....	24
2.4.1.	Méthodologie clinique.....	24
2.4.1.1.	PHASE 1 : Questionnaire.....	24
2.4.1.2.	PHASE 2 : Empreintes numériques.....	24
2.4.1.3.	PHASE 3 : Papiers marqueurs.....	26
2.4.1.4.	PHASE 4.....	27
2.4.1.5.	PHASE 5 : Evaluation et comparaison.....	30
2.5.	Discussion.....	42
2.5.1.	Biais potentiels identifiables de l'étude.....	42
2.5.2.	Discussion des résultats.....	43
2.5.3.	Point sur la littérature actuelle.....	47
2.6.	Conclusion de notre étude.....	48
2.7.	Bilan des recommandations de bonnes pratiques.....	48

IV. IMPLICATIONS EN PRATIQUE CLINIQUE.....49

1.	Le numérique en occlusion : Utilisation de Medit Occlusion Analyser®.....	49
1.1.	Analyse de l'occlusion statique.....	49
1.2.	Analyse de l'occlusion dynamique.....	50
1.3.	Déroulé d'une consultation occlusale avec outils conventionnels VS empreinte numérique.....	51
1.4.	Intérêts dans la conception prothétique.....	53
1.5.	Outil de communication.....	54
1.5.1.	Avec le patient.....	54
1.5.2.	Avec le prothésiste.....	54
1.5.2.1.	Occlusion statique.....	54
1.5.2.2.	Occlusion dynamique.....	55
1.6.	Avantages et limites du système Medit Occlusion Analyser®.....	55
1.7.	Autres méthodes d'enregistrement de la dynamique mandibulaire.....	56
2.	Intégration du numérique dans la conception des dispositifs occlusaux.....	57
2.1.	Conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) de gouttières occlusales.....	57
2.1.1.	Quelle position mandibulaire de référence ?.....	57
2.1.1.1.	Depuis la position d'OIM.....	57
2.1.1.2.	Depuis la position de Relation Centrée (RC).....	58
2.1.2.	Quelle conception ?.....	60
2.1.2.1.	Conception personnalisée dans le logiciel Splint® de MeditLink®.....	60
2.1.2.2.	Conception et fabrication par un prothésiste par des logiciels de CFAO.....	60
2.1.3.	Quel modèle de gouttière ?.....	60
2.1.3.1.	Rigide impression 3D issue de la conception dans Splint®.....	61
2.1.3.2.	Rigide base dure.....	61

2.1.3.3. Rigide base souple	61
2.2. Suivi occlusal numérique	62
3. Intégration des scans faciaux pour le positionnement des arcades numériques dans un articulateur virtuel	
3.1. Intégration du scan facial.....	62
3.1.1. Collecte et recueil des données	62
3.1.2. Corrélation des données	64
3.2. Protocole de validation du montage en articulateur virtuel.....	65
3.2.1. Moyens et méthodes.....	66
3.2.1.1. Méthode analogique	66
3.2.1.2. Méthode numérique	66
3.2.1.3. Exploitation des données.....	66
3.2.2. Résultats.....	67
3.2.3. Discussion	68
3.2.4. Conclusion du protocole.....	69
CONCLUSION	70
Table des illustrations.....	72
Liste des abréviations.....	75
Annexes	76
Références bibliographiques	81

INTRODUCTION

La consultation occlusale vise à explorer l'état de santé du système manducateur.

Ce que l'on appelle le système manducateur est une entité physiologique mettant en œuvre de manière interactive plusieurs composants.

Ce sont : les ATM, les muscles masticateurs et les arcades dentaires. Le tout étant régulé et coordonné par le système nerveux central de manière automatique.

La consultation se décompose en trois parties : un entretien, un examen clinique et des examens complémentaires.

Une telle consultation implique un rendez-vous d'au moins 45 minutes et si la prise d'empreinte et l'obtention de moulages est requise, au moins une autre séance pour en pratiquer l'analyse est nécessaire.

L'apparition des moyens numériques et tout particulièrement de l'empreinte optique et de ses développements laisse entrevoir des applications dans le domaine de l'occlusodontie. Leur application dans le cadre de la consultation occlusale permettrait de gagner en temps et en efficacité.

Cependant un certain scepticisme subsiste vis à vis de ces technologies quant à la précision et à la fiabilité des résultats obtenus.

L'objectif de ce travail était de comparer la partie de l'examen clinique consistant à matérialiser les contacts occlusaux statiques et dynamiques obtenus avec des marqueurs occlusaux traditionnels avec ceux de la carte occlusale numérique.

Un projet d'étude universitaire a établi les moyens et méthodes nécessaires à cet aboutissement, il sera exposé et discuté. Ensuite plusieurs applications concernant le traitement des images numériques à des fins diagnostiques et thérapeutiques seront développées.

De plus, le positionnement des modèles en plâtre ou numérisés est souvent réalisé de manière arbitraire et sans références anatomiques claires. L'émergence des scanners faciaux, dont les fichiers peuvent être associés aux empreintes numériques, soulève la question de savoir si ces outils peuvent résoudre ce problème et offrir une solution plus précise et fiable. Un protocole a été réalisé en ce sens afin d'en vérifier la fiabilité.

I. NOTIONS FONDAMENTALES

Ces notions fondamentales sont indispensables à connaître, puisqu'elles constituent les références associées à l'état de santé du système manducateur.

1. Bases de l'occlusion (1-4) (5,6)

L'**occlusion dentaire** est un état statique correspondant à tous les états possibles d'affrontements réciproques de deux arcades dentaires. (4)

1.1. Morphologie coronaire et occlusale

Occlusion dentaire sous-entend anatomie occlusale et donc anatomie dentaire. En effet, c'est la morphologie dentaire et l'organisation architecturale anatomique des dents et des arcades dans l'espace qui rendent possibles les différentes fonctions occlusales.

La couronne de l'organe dentaire est caractérisée par une **morphologie occlusale** constituée de formes convexes.

Au niveau des dents postérieures, ce sont les cuspides qui permettent l'engrainement dentaire.

On distingue 2 types de cuspides (Fig. 1) :

- Les cuspides primaires ou cuspides d'appuis ou cuspides porteuses d'occlusion :
Ce sont les cuspides palatines au maxillaire, vestibulaires à la mandibule. Elles jouent un rôle de stabilisation et de calage des arcades dentaires mais également de « stops verticaux » en maintenant la dimension verticale d'occlusion (DVO).
- Les cuspides secondaires ou cuspides surplombantes :
Ce sont les cuspides vestibulaires au maxillaire, linguales à la mandibule. Leurs formes plus acérées permettent un écrasement et un échappement optimisés du bol alimentaire ainsi que d'éviter les morsures.

Au niveau des dents antérieures, c'est le bord libre qui en définit la partie occlusale. Leur forme et affrontement entre antagonistes font qu'elles participent principalement aux fonctions de guidage. (Fig. 2)

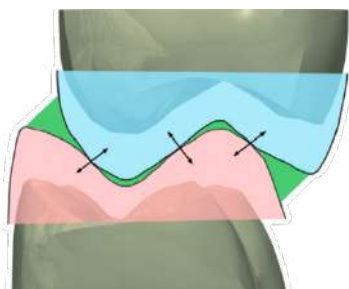


Figure 1 : Cuspides primaires et secondaires

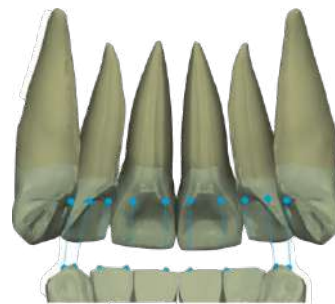


Figure 2 : Contacts antérieurs en OIM

La qualité de l'engrènement des arcades permet le respect des fonctions de base de l'occlusion définies par Orthlieb : centrage ; calage en occlusion statique ; guidage dans l'occlusion dynamique. C'est pourquoi leur enregistrement et analyse doit être effectuée par une technique fiable et reproductible.

1.2. Organisation spatiale des arcades dentaires

La morphologie occlusale à elle seule ne définit pas l'occlusion dentaire. La notion d'**organisation des organes dentaires** dans l'espace est fondamentale afin d'assurer le fonctionnement et la pérennité du système dentaire.

Ainsi, les arcades respectent un agencement curviligne dans les 3 sens de l'espace décrit :

- dans le plan sagittal : par le plan d'occlusion et la courbe de Spee passant par les cuspidés vestibulaires de toutes des dents cuspidées mandibulaires. Elle est concave vers le haut ;
- dans le plan horizontal : par l'arcade elle-même ;
- dans le plan frontal : par la courbe de Wilson reliant à la mandibule, les cuspidés vestibulaires et linguales d'une dent à leurs homologues du côté opposé.

Ce relief occlusal et cette organisation particulière permettent le fonctionnement optimal du **système dentaire** dans un objectif d'efficacité, d'économie d'énergie et de longévité (homéostasie du système). Ceci démontre l'importance de son étude afin que nos reconstitutions coronaires conservatrices et/ou prothétiques respectent ses principes fondamentaux pour en assurer son maintien et sa pérennité de fonctionnement.

1.3. Les positions de référence

Une position mandibulaire de référence est reproductible, non affectée par le traitement, enregistrable cliniquement pour la simuler au laboratoire (Jean-Daniel ORTHLIEB). (4)

Il est actuellement décrit dans la littérature, 2 positions mandibulaires de référence :

- L'OIM (occlusion d'intercuspidie maximale) ;
- La RC (position de relation centrée).

1.3.1. L'OIM (Occlusion d'Intercuspidie Maximale)

L'**Occlusion d'Intercuspidie Maximale** (OIM) constitue, physiologiquement, une position mandibulaire de référence où le rapport d'engrènement dentaire se caractérise par le maximum de contacts inter-arcades. Elle est caractérisée par la simultanéité des contacts occlusaux, répartissant les forces occlusales sur l'ensemble de la denture postérieure avec une très légère inoclusion (0,1mm) des dents antérieures. (7) (Fig. 3 et 4)

Ce rapport occlusal est indépendant de la situation articulaire des condyles, au contraire, il impose la situation des structures articulaires.

Cette relation occlusale, lorsqu'elle est physiologique, doit absolument être conservée ou renforcée par nos traitements.

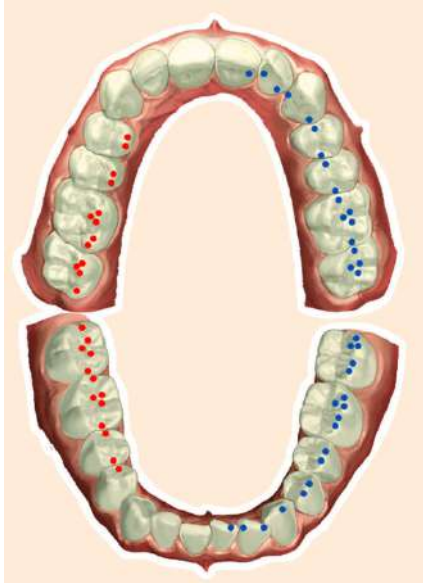


Figure 3 : Localisation des contacts occlusaux



Figure 4 : Position d'OIM

1.3.2. L'ORC (Occlusion en Relation Centrée)

La **Relation Centrée (RC)** est une position de référence articulaire indépendante de la situation dentaire. Suite à un consensus scientifique, une définition a été proposée par le Collège National d'Occlusodontologie : « La relation centrée est la situation condylienne de référence la plus haute, réalisant une coaptation bilatérale du complexe condylo-discal contre l'éminence temporale, simultanée et transversalement stabilisée, suggérée et obtenue par contrôle non forcé, réitérative dans un temps donné et pour une posture corporelle donnée et enregistrable à partir d'un mouvement de rotation mandibulaire sans contact dentaire. » (7)

L'**Occlusion en Relation Centrée (ORC)** est la position mandibulaire obtenue après guidage de la mandibule en relation centrée selon le mouvement axial terminal.

Quelques contacts occlusaux sont observables, on les dénomme : contacts prématurés. L'existence d'une faible divergence entre occlusion de relation centrée et l'OIM est statistiquement « normale » et ne présente pas à elle seule un indice pathologique. (Fig. 5)



Figure 5 : Comparaison des positions d'OIM et de RC

Cette position mandibulaire de référence présente un intérêt majeur en pratique clinique. Premièrement pour évaluer l'existence d'une divergence entre l'occlusion en OIM et en RC et établir un diagnostic clinique des pathologies occlusales et articulaires. Deuxièmement, afin de réhabiliter une occlusion fonctionnelle à nos patients lorsque les références dentaires en OIM ne sont plus exploitables.

1.4. Concept de normalité occlusale

Il est important de comprendre que la pratique clinique est basée sur des concepts occlusaux idéaux guidant nos diagnostics et nos thérapeutiques. En revanche, ces modèles théoriques sont rarement retrouvés naturellement et doivent nous servir de modèle de référence mais non pas comme un but en soi. Ils doivent s'inscrire dans une vision plus large et moins stricte afin de rentrer dans une démarche de projets thérapeutiques cliniques et non pas de concept pédagogique.

C'est pourquoi il a été distingué trois « niveaux » de relations occlusales : (2)

1.4.1. Normocclusion = OIM idéale

Il s'agit du **modèle de référence**. Ce modèle n'est pratiquement jamais retrouvé naturellement ; il représente un concept théorique à visée pédagogique et que l'occlusion thérapeutique visera à approcher.

1.4.2. Occlusion physiologique

Il s'agit de l'**occlusion naturelle ou thérapeutique**. Elle ne présente pas d'anomalies qui dépassent le potentiel adaptatif du système dentaire.

On distingue :

- L'occlusion fonctionnelle ou thérapeutique qui respecte les caractères généraux des fonctions occlusales
- L'occlusion de convenance ou malocclusion fonctionnelle qui permet les fonctions orales mais qui présente des anomalies de l'occlusion. Elle peut évoluer vers la malocclusion pathogène si l'équilibre qui s'est installé progressivement vient à se rompre.

1.4.3. Malocclusion pathogène

Le potentiel adaptatif du système dentaire et neuro-musculaire est dépassé. Les **fonctions occlusales ne sont plus assurées**.

2. Cinématique mandibulaire et fonctions occlusales

Au niveau de l'appareil manducateur, il est possible de distinguer 3 types de mouvements : (2)

- Les *mouvements limites* : ce sont les mouvements mandibulaires se produisant aux limites autorisées par les structures dento-musculo-articulaires dans les 3 plans de l'espace.
- Les *mouvements fondamentaux* : rarement réalisés naturellement par le patient, ils sont obtenus sur demande du praticien lors de l'examen clinique. Ils permettent d'évaluer les capacités de mouvement de l'appareil manducateur.

- Les *mouvements physiologiques ou fonctionnels* : ce sont les mouvements qui sont réalisés dans nos mouvements quotidiens naturels tels que la mastication, la déglutition, la phonation et le bâillement.

Dans un but de synthèse et d'intérêt avec notre sujet, seuls les **mouvements fondamentaux** seront décrits.

2.1. L'ouverture/fermeture

Les mouvements d'abaissement (ouverture) et d'élévation (fermeture) de la mandibule sont des mouvements symétriques, situés entre deux positions limites : l'Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM) et la Position d'Ouverture Maximale (POM). L'amplitude moyenne est de 5cm (trois travers de doigts). Il s'agit d'un mouvement de roto-translation condylienne, c'est-à-dire un mouvement composé à la fois d'une rotation et d'une translation.

2.2. La propulsion mandibulaire et guide antérieur

La propulsion mandibulaire est un mouvement postéro-antérieur amenant la mandibule de l'OIM à la Position de Propulsion Maximale (PPM). Elle est obtenue et déterminée par le glissement des bords libres des incisives mandibulaires sur les surfaces de guidage palatines des incisives maxillaires (pente incisive). Physiologiquement, la transposition condylienne qui en découle est un mouvement de translation sagittale quasiment pure (associé à une très faible rotation condylienne). Cela fait prendre conscience du **déterminisme dentaire** du mouvement condylien et l'importance de restaurer une pente incisive en cohérence avec la pente condylienne physiologique du patient. (Fig. 6)

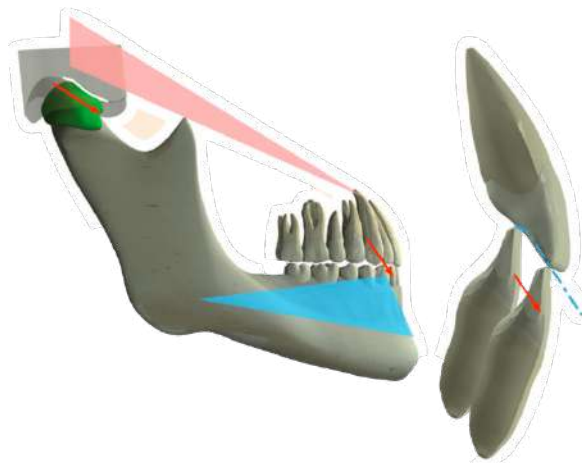


Figure 6 : Pente incisive et pente condylienne

Selon la classe d'angle, le guide antérieur peut assurer ou non la fonction de guidage en propulsion :

- Lorsqu'il est *fonctionnel* : il provoque une désocclusion des dents postérieures (principe de protection mutuelle) ;
- Lorsqu'il est *dysfonctionnel* : il provoque une majoration des contacts antérieurs (interférences antérieures) ;
- Lorsqu'il est *afonctionnel* : il ne provoque pas de désocclusion des dents postérieures. Ceci induit donc des interférences postérieures nocives (Fig.6).

2.3. La diduction mandibulaire

Le mouvement de diduction correspond à un déplacement latéral de la mandibule vers la droite ou la gauche. Il est donc asymétrique et à composante transversale. Physiologiquement déterminé par l'affrontement de la pointe canine mandibulaire sur la face mésiale de la courbure palatine de la canine maxillaire. (Fig. 7)



Figure 7 : Diduction droite en fonction canine

(Lauret et Le Gall, La fonction occlusale, Implications cliniques, 2011)

Comme pour les incisives et le guide antérieur, le guide canin assure une fonction de guidage de la mandibule en diduction :

- Lorsqu'il est *fonctionnel* : c'est la canine qui en assure le mouvement (fonction canine) ou plusieurs dents simultanément qui sont soit les canines et plusieurs incisives (fonction de groupe antérieure) ou les canines et plusieurs dents cuspidées (fonction de groupe postérieure) ;
- Lorsqu'il est *dysfonctionnel* : Seules les incisives participent au mouvement (interférences antérieures) ;
- Lorsqu'il est *afonctionnel* : Seules les dents postérieures participent au mouvement (interférences postérieures travaillantes ou non travaillantes)

Le mouvement de diduction induit un déplacement condylien asymétrique (Fig. 8) :

- Le condyle « travaillant » ou « pivotant » effectue deux mouvements combinés : une rotation horizontale et une translation vers l'extérieur (du côté de la diduction) nommé *mouvement de Bennet* ;
- Le condyle « non travaillant » ou « orbitant » (du côté opposé à la diduction) effectue une translation vers l'avant, le bas et le dedans. La composante angulaire entre un plan para-sagittal et le plan médian forme l'*angle de Bennett* (environ 7°).

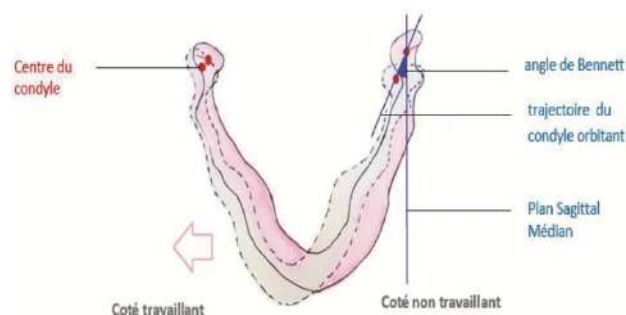


Figure 8 : Angle de Bennett en vue supérieure lors d'une diduction droite

(Schéma M. BAPELLE)

3. Implication clinique

Ces rappels fondamentaux ont été réalisés car l'élaboration d'un diagnostic ou de nos traitements doit s'effectuer sur les bases d'un consensus et de modèles théoriques idéaux.

Ces notions vont être abordées tout au long de ce travail. Le rappel des définitions essentielles en était donc important.

De plus, cela nous permet de rappeler l'**interdépendance de ces 3 systèmes** : dentaire, ostéo-articulaire et neuromusculaire qui constituent l'appareil manducateur.

L'occlusion est aujourd'hui considérée comme un facteur étiologique mineur de la majorité des DAM mais peut tout de même jouer un rôle déclencheur ou d'aggravation chez certains patients.(8,9)

Une insuffisance de guide fonctionnel peut également avoir des répercussions dento-alvéolaires. (Fig. 9)



Figure 9 : Diduction droite, fonction de groupe, usure dentaire prématurée

C'est ici que l'étude théorique des mouvements dentaires, articulaires et des fonctions occlusales trouve son intérêt clinique. La **transmission des données** occlusales, articulaires et esthétiques au laboratoire est un enjeu.

Nos restaurations prothétiques doivent s'inscrire dans le schéma physiologique du patient, respectant ses fonctions occlusales et articulaires ; ou le cas échéant, créer un nouveau schéma occlusal personnalisé s'approchant au plus des modèles théoriques.

Pour la simulation des mouvements mandibulaires, l'**articulateur reste aujourd'hui le gold standard**. Des valeurs standardisées ou personnalisées y sont paramétrables.

Dans un contexte où la dentisterie moderne requiert une précision croissante, le développement de nouvelles méthodes fiables, reproductibles et simples d'utilisation devient crucial pour notre pratique. La question est de savoir si ces technologies numériques sont capables de garantir des résultats conformes aux exigences de notre pratique.

II. CONSULTATION OCCLUSALE : EVOLUTION DES PARADIGMES

1. Approche conventionnelle dans l'examen de l'occlusion

1.1. Consultation occlusale (10,11)

Une consultation occlusale complète ne se résume pas uniquement à une analyse occlusale purement clinique. L'examen clinique de l'occlusion fait suite à une évaluation attentive de l'état dentaire et il est précédé par un historique occlusal (interrogatoire) et un bilan dento-alvéolaire.

Cet examen clinique peut être complété par une observation des moulages issus d'empreintes, voir par un montage en articulateur et une analyse occlusale instrumentale.

Il est possible de schématiser le déroulement d'une consultation occlusale conventionnelle comme suit :



① L'**entretien** permet de recueillir les doléances du patient, la raison de sa consultation, la fréquence et l'intensité des symptômes qu'il évoque. Ce sont des informations subjectives à mettre en rapport avec les réponses à un éventuel questionnaire qui lui aura été remis. Durant cet entretien, une observation comportementale peut apporter des indices sur son état émotionnel. Il convient également de lui demander ce qu'il attend de nous.

Une radiographie panoramique est toujours un complément indispensable pour éliminer la présence de lésions organiques dans l'établissement d'un diagnostic différentiel.

② L'**observation clinique** est ensuite l'étape où on demande au patient de réaliser des mouvements tels que :

- Ouverture/Fermeture : noter l'amplitude et la rectitude du trajet d'ouverture ;
- Mouvements de latéralisation et de propulsion de la mandibule, dents séparées et en contact.
- Un claquement répété en OIM : observer le rythme (une rapidité et fluidité signe une bonne santé occlusale) ainsi qu'une fermeture nette et direct en OIM sans saccade (présumant l'absence d'interférences).

③ L'**examen clinique** commence par la palpation exo buccale des muscles et des ATM, puis par l'examen intra buccal : état des muqueuses (zones de morsures dans les joues) et palpation du plancher de la bouche. Le point fort est bien entendu l'examen des arcades dentaires : nombre de dents, malpositions, forme des arcades et matérialisation des contacts occlusaux en OIM et RC. Ces derniers points vont être développés ci-après.

Cet examen clinique fait, à un moment donné, appelle à des outils et matériels nécessaires qui sont complémentaires à l'établissement d'un diagnostic. Couramment utilisés en pratique quotidienne : les marqueurs d'occlusion, des empreintes réalisées en vue de l'obtention de moulages destinées à être montés en articulateur dans une séance suivante. Tous ces outils ont fait leur preuve au fil du temps, et leur intérêt est validé.

1.2. Évolution des techniques et matériels en occlusion

Plusieurs méthodes et moyens simples sont utilisés couramment dans notre pratique afin de matérialiser et déterminer l'emplacement exact des contacts occlusaux.

Des méthodes faisant appel à l'objectivité et l'expérience du praticien ainsi qu'à l'éducation du patient telles que le contrôle visuel qui permet d'analyser l'organisation spatiale des arcades et la position mandibulaire. Elle ne nous permettra pas en revanche de contrôler la présence ou non d'un contact entre la cuspside palatine de la 17 et la fosse centrale de la 47. Mais aussi la perception « éclairée » du patient ou le contrôle sonore des contacts et le contrôle tactile par le praticien.

Ce sont des paramètres à prendre en considération pouvant orienter notre piste diagnostique ou thérapeutique mais qui font l'objet d'une trop grande imprécision ne permettant pas de les valider.

C'est pourquoi sont utilisés différents types d'indicateurs occlusaux, permettant d'objectiver matériellement ou visuellement les contacts inter-dentaires.

Les méthodes qualitatives permettent de localiser les points de contact alors que les méthodes quantitatives permettent de définir leur séquence et leur intensité. (12)

1.2.1. Les indicateurs qualitatifs

- **Les rubans sans marqueurs (6)**

L'utilisation d'un ruban métallique de 8 microns (ex : Shimstock®) d'épaisseur inséré au niveau de chaque dent ou groupe de dent permet de déterminer la présence ou l'absence d'un contact. Il ne permet pas en revanche d'en mesurer l'intensité. (Fig.10)



Figure 10 : Papier Shimstock® (ID)

- **Élastomères d'enregistrement de l'occlusion**

Mettent en évidence la présence des contacts inter-arcades par perforations du matériau.

1.2.2. Les indicateurs quantitatifs

- **Les papiers d'occlusion**

Ils permettent de marquer les contacts par simple fermeture/claquements et d'en faire une visualisation immédiate.

Ils existent sous différentes formes, supports et épaisseurs allant de **12 à 200 microns** afin de marquer plus ou moins les contacts. (Fig.11)

Leur utilisation peut aussi permettre une analyse dynamique de l'occlusion mais peut sembler fastidieuse et délicate pour certains praticiens.



Figure 11 : Mise en évidence des contacts par le papier d'occlusion

- **Le T-scan® de Novus**

Il s'agit d'un appareil d'analyse occlusale utilisant des capteurs matriciels. Il permet la localisation et la détermination de l'ordre d'apparition des contacts dentaires. Il détecte aussi les intensités des forces qui s'exercent sur chaque point lors des différents mouvements des mâchoires. (Fig. 12)
 Les données peuvent d'une certaine manière être stockées et contrôlées.
 L'interface n'est cependant pas très pédagogique et parlante pour le patient ou la transmission au laboratoire.

- **OccluSense® de Bausch**

Il s'agit d'un dispositif numérique permettant de quantifier la répartition de la force occlusale. (Fig. 13)
 Cet outil de diagnostic enregistre et analyse les conditions occlusales en représentant les pressions aux points de contact et la répartition de la force de mastication. (13)

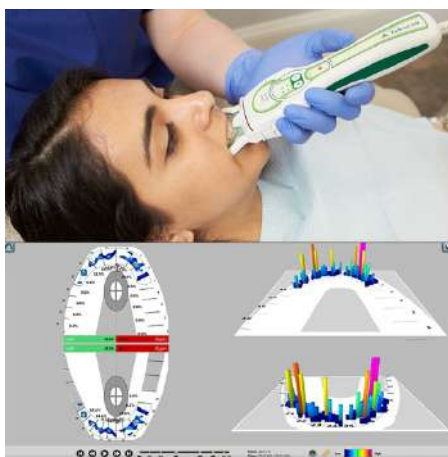


Figure 12 : T-Scan de Novus®



Figure 13 : OccluSense de Bausch®

1.3. Avantages et limites du papier d'occlusion

1.3.1. Avantages

L'indicateur occlusal le plus fréquemment utilisé en pratique dentaire reste le **papier d'occlusion** (14). C'est en effet un outil simple et rapide d'utilisation. Il permet d'apporter les informations essentielles recherchées et de pouvoir en disposer immédiatement.

Nous pouvons donc résumer ses avantages par :

- Son accessibilité et son faible coût ;
- Sa facilité de mise en œuvre et sa disponibilité dans la plupart des cabinets dentaires ;
- Son utilité en pratique quotidienne et sa polyvalence dans son utilisation clinique.

1.3.2. Limites

Ses limites peuvent être présentées comme ceci :

- Opérateur-dépendant : son utilisation et les informations que cet outil peut nous apporter dépendent de l'expérience et du niveau de précision du praticien ;
- Insuffisance dans des situations cliniques complexes : nombre de données limitées et insuffisamment précises dans des cas de malocclusions.
- Sensibilité à l'humidité du milieu buccal : peut nuire au marquage et à la lecture de la carte occlusale ;
- Pas interactif ou pédagogique et difficulté de communication des informations enregistrées ;
- Tendance à la majoration des marques en nombre et en surface ;
- Dépendance et sensibilité à la pression occlusale exercée pendant l'enregistrement : l'utilisation d'un papier d'occlusion trop épais modifie l'activité SEMG (électromyographie de surface) des muscles masticateurs lors de la fermeture en occlusion. De plus, dans cette étude, les patients ont décrit un certain inconfort occlusal pendant la fermeture (15). Il existe une tendance à l'augmentation de la surface de la marque avec l'augmentation de la charge occlusale (16) ;
- Incapacité de stocker les informations et d'en établir un suivi précis.

Ces limites soulignent l'importance d'utiliser le papier d'occlusion de manière **judicieuse** et de l'associer à d'autres techniques d'évaluation occlusale pour obtenir une évaluation plus complète de l'occlusion du patient.

2. L'ère numérique en occlusion

2.1. Emergence du numérique en dentisterie

L'émergence et le besoin croissant du numérique en dentisterie sont le reflet de l'évolution rapide de la technologie et des attentes des patients et praticiens en matière de soins dentaires.

Le numérique dentaire englobe un large éventail de domaines, notamment la radiographie numérique, l'empreinte numérique, la modélisation et la conception assistées par ordinateur (CAO).

Dans le domaine de l'occlusion, une étude de 2021 faisait référence à 228 questionnaires envoyés à des praticiens indique que si c'était techniquement possible, les **praticiens utiliseraient préférentiellement des techniques numériques** afin de fournir des données plus précises et fiables sur les contacts occlusaux enregistrés (14).

L'avènement du numérique répond ainsi à une demande croissante et continue, et doit par conséquent relever les défis en matière de fiabilité, de précision et de facilité d'utilisation.

2.2. Méthode numérique : scepticisme et besoin de validation

L'objectif premier de cette évolution vers le numérique doit avant tout être d'améliorer la prise en charge des patients.

Face à des demandes techniques et scientifiques exigeantes, né un sentiment de vigilance.

Malgré les avancées technologiques rapides dans le domaine de la dentisterie numérique, certains praticiens restent sceptiques quant à l'efficacité et à la fiabilité de cette approche en ce qui concerne l'occlusion dentaire.

Premièrement, ce scepticisme découle en partie de la **complexité** des systèmes numériques, qui peuvent sembler peu intuitifs pour certains praticiens habitués aux méthodes conventionnelles.

Deuxièmement, des préoccupations persistent quant à la **précision** des données générées par les scanners et les logiciels de modélisation, en particulier en ce qui concerne la reproduction fidèle de l'occlusion naturelle du patient.

De plus, certains praticiens craignent également que la **dépendance croissante à la technologie** numérique ne compromette la compétence manuelle et la capacité d'évaluation clinique des chirurgiens-dentistes, ce qui pourrait potentiellement entraîner des erreurs de diagnostic et de traitement.

Un autre argument des sceptiques de ces technologies pourrait être le **coût**. En effet, les investissements nécessaires pour acquérir les équipements et logiciels numériques peuvent être prohibitifs pour certains praticiens. Cet argument est à mettre en balance avec de nombreuses études qui prouvent la rentabilité de cet investissement sur le long terme.

En conséquence, bien que la dentisterie numérique présente des avantages potentiels indéniables, son adoption généralisée est encore freinée par un certain degré de scepticisme au sein de la communauté dentaire.

L'objectif de ce travail n'est donc pas de tirer un trait sur des années d'utilisation fiable des outils actuels dans l'examen occlusal, mais de proposer une méthode alternative : **conforme** aux méthodes actuelles, qui en **dépasse les limites** et qui apporte des **avantages et avancées** non négligeables.

III. PROTOCOLE COMACCO : VALIDATION DE L'OCCLUSION NUMERIQUE

1. Contextualisation du projet d'étude

Dans la volonté de **vérifier la fiabilité de l'enregistrement de l'occlusion avec une caméra numérique**, il a été proposé de réaliser un projet d'étude universitaire.

En effet, nous avons souhaité essayer de répondre par nous même à cette interrogation par la mise en place d'un protocole simple de comparaison entre l'utilisation de marqueurs occlusaux conventionnels et numériques.

Ce protocole d'étude cherche davantage à valider ou invalider une PRECISION CLINIQUE de ces technologies numériques.

Il s'agit donc d'un protocole de validation clinique et non d'une recherche scientifique de laboratoire.

En mettant en œuvre ce protocole d'étude, nous cherchons à répondre à une question pratique et cliniquement pertinente : quel est le niveau de précision des enregistrements occlusaux réalisés avec une caméra numérique par rapport à ceux obtenus avec des marqueurs occlusaux conventionnels ? Cette comparaison directe permettra d'évaluer la fiabilité de l'utilisation de la technologie numérique dans la pratique clinique quotidienne et d'identifier d'éventuelles différences ou avantages par rapport aux méthodes conventionnelles.

En résumé, notre projet d'étude universitaire vise à apporter des éclaircissements pratiques sur l'utilisation des technologies numériques pour l'enregistrement occlusal, en mettant l'accent sur la précision clinique dans un contexte de pratique réelle en chirurgie dentaire.

Le protocole a été soumis et validé le 08 Septembre 2023 par le CERNI dans le cadre d'une recherche académique sous le numéro 2023-042 et le nom de :

« Protocole COMACCO : Comparaison des contacts occlusaux obtenus par des marqueurs conventionnels et de la carte occlusale obtenue par empreinte optique ».

2. Moyens et méthodes

2.3. Moyens

2.3.1. Population d'étude

- Nous avons inclus **15 participants** qui répondaient au critère d'inclusion suivant : **Étudiants volontaires de TCEO1 (Sixième année d'Odontologie)**.
- Le seul critère de non-inclusion de la population concernée était de ne pas obtenir son consentement éclairé pour sa participation à l'étude. Un formulaire de recueil du consentement a été donné et rempli par chaque participant (*Annexe B*).

2.3.2. Identification des chercheurs participants

- Dr Éric LEFORESTIER : Responsable académique du projet et directeur de thèse. Maître de Conférences des Universités- Praticien hospitalier, sous-section 58-01 (Réhabilitation orale discipline Biomatériaux), UFR Odontologie de l'Université Côte d'Azur ;
- Dr Gérard DUMINIL : Investigateur du projet. Praticien Libéral, attaché universitaire ;
- Mr LEQUIEN Romain : Investigateur associé. Étudiant TCEO1, thèse de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire).

2.3.3. Matériaux et équipements

- Lieu des passations : **UFR Odontologie** (Salle 303 équipée d'un fauteuil dentaire), **Université Cote d'Azur**, Campus Saint Jean d'Angély, 5 rue du 22ème BCA, 06300 NICE.
L'UFR d'odontologie nous a donné son accord afin de réaliser ce protocole sur 2 dates distinctes en ayant accès à la salle de simulation et à un fauteuil de simulation.



Figure 14 : Salle de simulation de l'UFR Odontologie de Nice

- Dans le cadre de l'UFR, nous avons disposé du matériel :
 - Du papier d'occlusion de 30 et 100 microns ;
 - Un appareil photo Reflex ;
 - Une caméra numérique sans fil Medit® i700W ;
 - Un ordinateur PC sous Windows 11 pour l'analyse des données ;
 - Un compte dédié à cette étude pour accéder au logiciel informatique MeditScan® 1.11, MeditLink® 3.2 et à son logiciel complémentaire Medit Occlusion Analyser®.



Figure 15 : Caméra intra-orale Medit® i700W

2.4. Méthodes

Les entretiens avec les participants ont été réalisés sur 2 journées complètes.

La totalité des empreintes optiques et des enregistrements aux papier d'occlusion ont été réalisées par le même opérateur avec un scanner Medit i700W et du papier d'occlusion 30 et 100 microns.

2.4.1. Méthodologie clinique

Le protocole clinique consistait en un **entretien UNIQUE** décomposé en **5 phases**.

PHASE 1	Saisie des données du questionnaire socio-démographique et de satisfaction (<i>Annexe A</i>) sur tableur Excel avec anonymisation complète sans possibilité de recoupement.
PHASE 2	Mise en condition du participant, puis empreintes optiques des deux arcades obtenues par la caméra MEDIT® avec implémentation directe dans le logiciel Occlusal Analyser® après nettoyage des modèles. 2a. Enregistrement de l'arcade maxillaire et mandibulaire ; 2b. Enregistrement bilatéral de l'occlusion en OIM ; 2c. Enregistrement du mouvement libre ; 2d. Enregistrement du mouvement de propulsion ; 2e. Enregistrement du mouvement de diduction droit puis gauche.
PHASE 3	Enregistrement des données occlusales obtenues par marquage traditionnel avec papier d'occlusion sur tableur Excel avec anonymisation complète sans possibilité de recoupement. 3a. Marquage des faces occlusales par fermeture en occlusion répétée 2 fois avec du papier d'occlusion de 30 microns, puis de 100 microns ; 3b. Marquage d'un mouvement mandibulaire de propulsion ou diduction ; 3c. Prise des photos entre chaque étape et incorporation dans un tableur Excel.
PHASE 4	Traitement des données selon les impératifs et pré-requis retenus. Définition des objets et critères de comparaison .
PHASE 5	Évaluation et comparaison des deux méthodes. Les questionnaires et les grilles d'évaluation seront stockés dans le bureau de la discipline "Biomatériaux" de l'UFR Odontologie avec anonymisation complète sans possibilité de recoupement.

2.4.1.1. PHASE 1 : Questionnaire

Les participants ont été invités à remplir un questionnaire socio-démographique au début de l'entretien, ainsi qu'un questionnaire de satisfaction en fin de session.

2.4.1.2. PHASE 2 : Empreintes numériques

Les **empreintes numériques** des deux arcades complètes ont été réalisées en premier lieu. Un court traitement de l'image consiste à éliminer les parties molles inutiles (joues, lèvres, langue) au niveau de chaque arcade. (*Fig.16*)

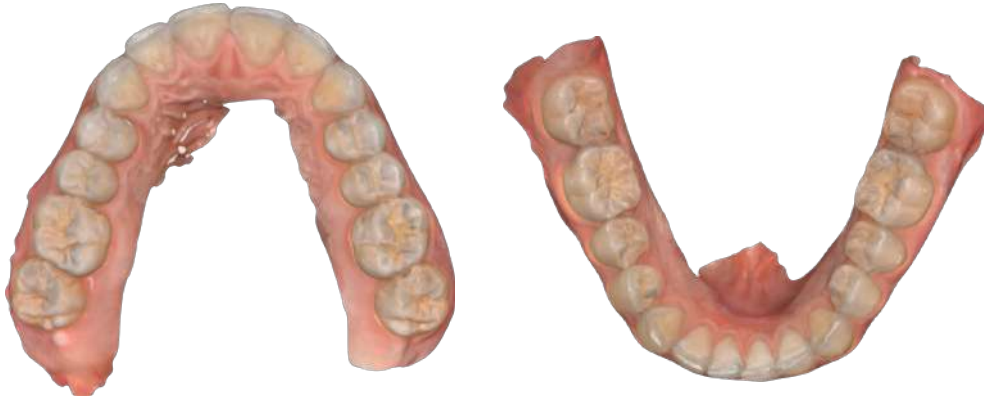
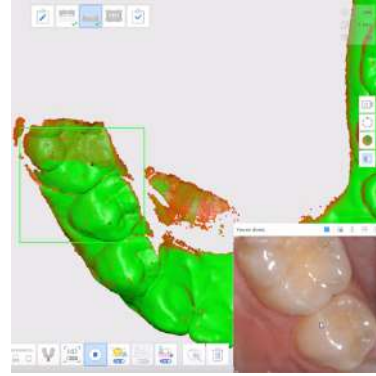


Figure 16 : Enregistrement numérique des arcades

L'**enregistrement bilatéral** de l'occlusion en OIM a ensuite été effectué. Le patient est préalablement invité à se placer en OIM, puis à ouvrir la bouche, le scanner est placé contre la joue et le patient referme en OIM en exerçant une pression modérée entre ses arcades. L'opérateur réalise un enregistrement avec un balayage de haut en bas et d'arrière en avant jusqu'à l'obtention d'un signal visuel et sonore indiquant que la corrélation s'est établie automatiquement. (Fig.17)

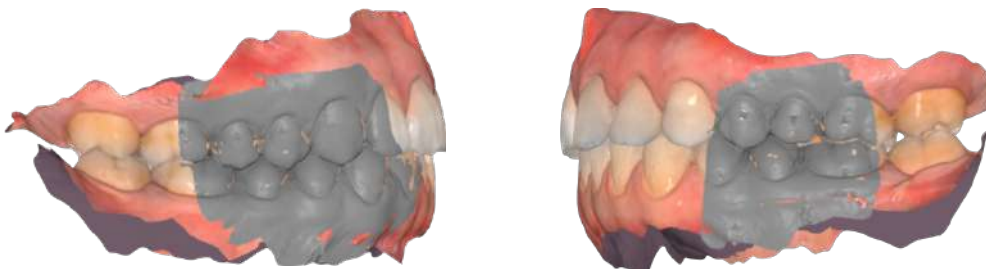


Figure 17 : Enregistrement bilatéral de l'occlusion numérique

Pour réaliser l'**enregistrement dynamique**, la caméra est positionnée du côté droit ou gauche contre les faces vestibulaires des dents. Elle doit être stabilisée et alignée avec le plan d'occlusion du patient. Les mouvements ont été successivement réalisés par le participant : mouvement libre, propulsion, diduction droite puis diduction gauche. (Fig.18)



Figure 18 : Enregistrement numérique de l'occlusion dynamique

2.4.1.3. PHASE 3 : Papiers marqueurs

Une fois ces enregistrements numériques terminés, il été demandé au participant de réaliser une **fermeture nette naturelle amenant à l'OIM**, répétée 2 fois.

Premièrement sur un papier d'occlusion de **30 microns** d'épaisseur puis de **100 microns**, tous deux montés sur une pince de Miller.

Une photographie intra-buccale maxillaire et mandibulaire ont été réalisées à la suite de chaque utilisation du papier d'occlusion à l'aide d'un miroir et d'un appareil photo reflex. Les photographies ont été prises de façon le plus orthogonale possible afin de faciliter la concordance avec les empreintes numériques. (Fig. 20)

Les photographies ont fait l'objet de retouches : recadrage pour limiter la photographie aux zones exploitables et à un retournement horizontal de l'image car les photos ont été prises dans un miroir et sont donc originalement inversées.

Ensuite il a été entrepris l'enregistrement d'un **mouvement de diduction** droite ou gauche. Pour cela il a été demandé au participant de serrer les dents en OIM puis de réaliser un mouvement excentré vers la droite ou la gauche tout en laissant les dents en contact. Afin d'enregistrer uniquement le mouvement excentré, il a bien été indiqué au participant d'ouvrir la mâchoire avant de revenir en OIM et réaliser une seconde fois le mouvement. (Fig. 19)



Figure 20 : Marquage au papier d'occlusion des contacts en OIM



Figure 20 : Marquage au papier d'occlusion d'une diduction gauche

2.4.1.4. PHASE 4

Afin de pouvoir établir une comparaison des données numériques et marquages conventionnels, il a été nécessaire de définir des objets et critères de comparaison.

- **Objets de comparaison** : Comparaison de l'occlusion statique et de l'occlusion dynamique.

COMPARAISON DE L'OCCLUSION STATIQUE

- **Critères de comparaison** :

- Nombre de points
- Localisation (superposition)
- Précision et exactitude

- **Pré-requis / Règles** :

- Conserver uniquement les **données exploitables** des photos et en limiter l'analyse uniquement à celles-ci : rognage des photos ;
- Les photographies intra-orales et les captures d'écran issues des empreintes numériques sont mises au plus possible dans le même **axe** et à des **dimensions** et **proportions similaires** (calibrage) ;

Un exemple est illustré ici :

Dans le logiciel de Medit Scan®, il a été mesuré la distance mésio-distale de la 46 issue de l'empreinte numérique du patient.

Pour cela, il a fallu délimiter une zone d'analyse et de mesure qui permet d'augmenter la résolution de l'image. (Fig. 21)



Figure 21 : Délimitation de la zone de mesure dans MeditScan®

L'outil de mesure entre 2 points permet ainsi d'obtenir la valeur de la distance méso-distale de la 46. (Fig. 22)

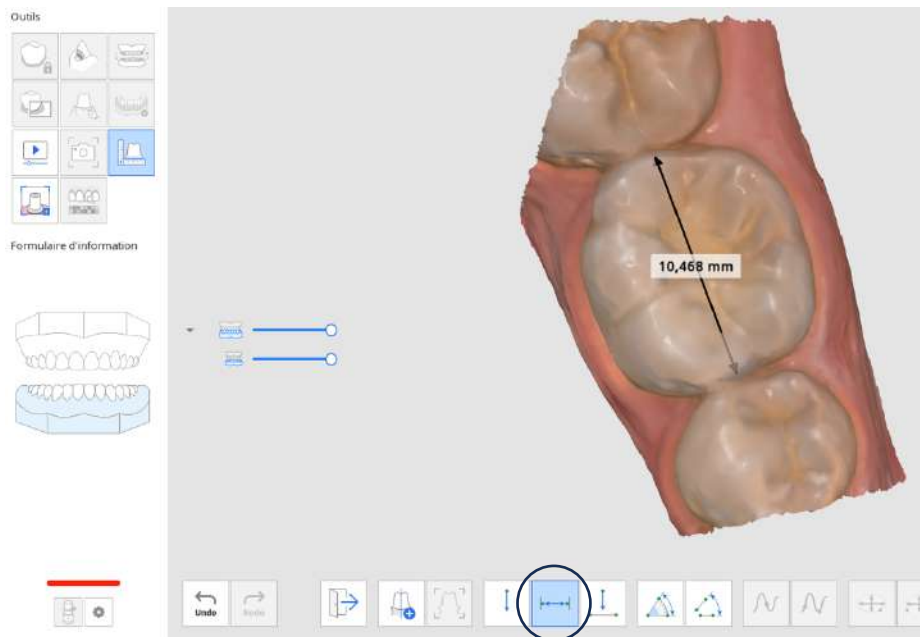


Figure 22 : Mesure de la distance méso-distale de la 46 dans MeditScan®

Cette mesure permet de calibrer nos images : photographie intra-orale et empreinte numérique. (Fig. 23)

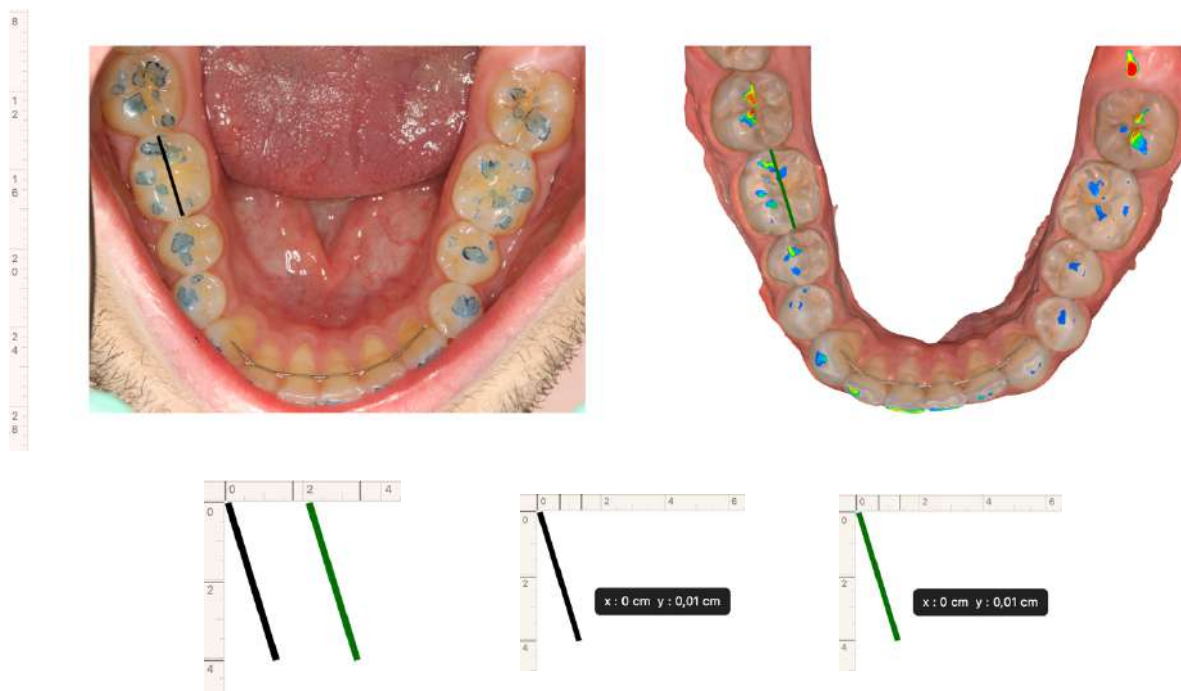


Figure 23 : Calibration de la photographie intra-orale et de l'empreinte numérique

- Définir un **seuil d'épaisseur à partir duquel un point d'occlusion est considéré comme tel**.
 - Ajustement de la ColorMap du logiciel Medit Occlusion Analyzer® : afin de minimiser les informations et faire correspondre les contacts visibles sur l'empreinte numérique à des contacts de diamètre compris entre 1 et 4 mm en moyenne. (Fig. 24)
 - Mesure d'un point de contact visible et cohérent validé en bouche, de petite intensité sur la photographie intra-buccale et l'empreinte numérique = 0,971 mm (considéré comme le plus petit point comptabilisable). (Fig. 25)
- Ainsi, un contact est comptabilisé lorsqu'il présente une dimension comprise entre **1 et 3 mm** (en dessous : il n'est pas considéré ; au-dessus : il est considéré comme une « trace » du papier d'occlusion).

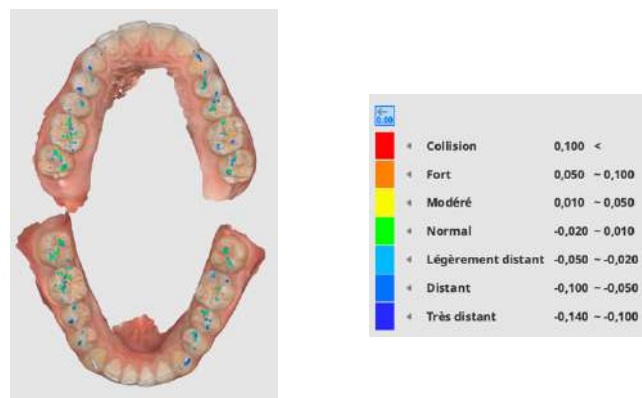


Figure 24 : Ajustement de la "ColorMap" du logiciel Medit Occlusion Analyzer



Figure 25 : Mesure du plus petit point d'occlusion comptabilisable et son calibrage

- **Un seul point est comptabilisé par cuspide ou par crête marginale**, même si le contact est entrecoupé en plusieurs marques.
- Nous avons pris comme étalon de mesure clinique le marqueur occlusal couramment utilisé d'une épaisseur de 100 microns, ce qui représente une valeur moyenne parmi les diverses épaisseurs disponibles (de 12 à 200µm).

2.4.1.5. PHASE 5 : Evaluation et comparaison

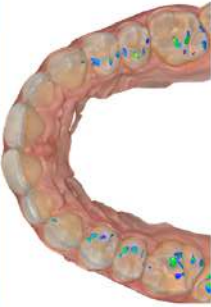



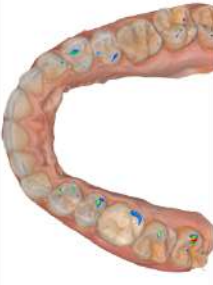









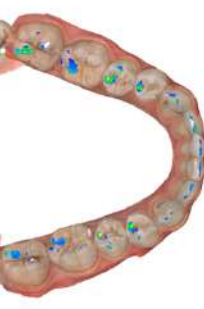









L'évaluation et la comparaison des 2 méthodes est réalisée selon les critères de comparaison établis précédemment dans la phase 4.











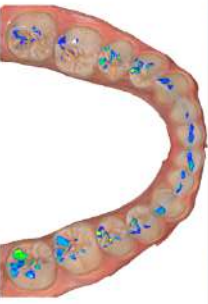

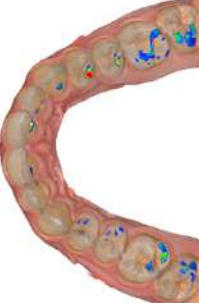





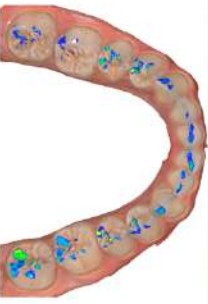

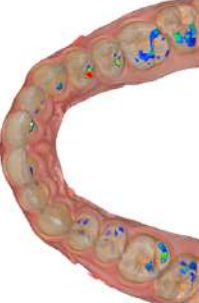



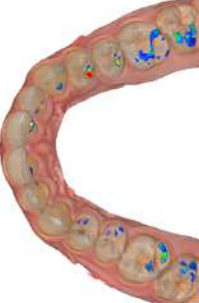



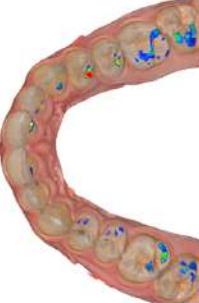



- **NOMBRE DE POINTS**

Afin de faciliter la lecture, les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de diagrammes.

Il a été distingué **4 zones dentaires** (incisives, canines, prémolaires, molaires) afin d'affiner l'analyse de ce critère.

Participant	Zone dentaire	Méthode	Nombre de points	Modèle numérique maxillaire	Photo marquage maxillaire	Modèle numérique mandibulaire	Photo marquage mandibulaire
1	Incisives	Conventionnelle	0				
		Numérique	0				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
2	Prémolaires	Conventionnelle	16				
		Numérique	16				
	Molaires	Conventionnelle	18				
		Numérique	19				
3	Incisives	Conventionnelle	8				
		Numérique	8				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
4	Prémolaires	Conventionnelle	17				
		Numérique	15				
	Molaires	Conventionnelle	26				
		Numérique	23				
5	Incisives	Conventionnelle	NE				
		Numérique	NE				
	Canines	Conventionnelle	5				
		Numérique	5				
6	Prémolaires	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
	Molaires	Conventionnelle	21				
		Numérique	20				
7	Incisives	Conventionnelle	8				
		Numérique	8				
	Canines	Conventionnelle	6				
		Numérique	6				
8	Prémolaires	Conventionnelle	17				
		Numérique	17				
	Molaires	Conventionnelle	25				
		Numérique	25				

Participant	Zone dentaire	Méthode	Nombre de points	Modèle numérique maxillaire	Photo marquage maxillaire	Modèle numérique mandibulaire	Photo marquage mandibulaire
5	Incisives	Conventionnelle	9				
		Numérique	9				
	Canines	Conventionnelle	5				
		Numérique	5				
6	Prémolaires	Conventionnelle	19				
		Numérique	20				
	Molaires	Conventionnelle	21				
		Numérique	21				
7	Incisives	Conventionnelle	8				
		Numérique	0				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	2				
8	Prémolaires	Conventionnelle	17				
		Numérique	16				
	Molaires	Conventionnelle	20				
		Numérique	16				
9	Incisives	Conventionnelle	2				
		Numérique	2				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	2				
10	Prémolaires	Conventionnelle	9				
		Numérique	9				
	Molaires	Conventionnelle	5				
		Numérique	6				
11	Incisives	Conventionnelle	12				
		Numérique	9				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
12	Prémolaires	Conventionnelle	16				
		Numérique	15				
	Molaires	Conventionnelle	20				
		Numérique	17				

Participant	Zone dentaire	Méthode	Nombre de points	Modèle numérique maxillaire	Photo marquage maxillaire	Modèle numérique mandibulaire	Photo marquage mandibulaire
9	Incisives	Conventionnelle	7				
		Numérique	7				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
10	Prémolaires	Conventionnelle	18				
		Numérique	17				
	Molaires	Conventionnelle	29				
		Numérique	29				
11	Incisives	Conventionnelle	8				
		Numérique	8				
	Canines	Conventionnelle	6				
		Numérique	6				
12	Prémolaires	Conventionnelle	20				
		Numérique	16				
	Molaires	Conventionnelle	25				
		Numérique	27				
11	Incisives	Conventionnelle	10				
		Numérique	10				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
12	Prémolaires	Conventionnelle	14				
		Numérique	20				
	Molaires	Conventionnelle	22				
		Numérique	20				
12	Incisives	Conventionnelle	8				
		Numérique	9				
	Canines	Conventionnelle	3				
		Numérique	4				
12	Prémolaires	Conventionnelle	12				
		Numérique	13				
	Molaires	Conventionnelle	9				
		Numérique	13				



Participant	Zone dentaire	Méthode	Nombre de points	Modèle numérique maxillaire	Photo marquage maxillaire	Modèle numérique mandibulaire	Photo marquage mandibulaire
13	Incisivés	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
Prémolaires		Conventionnelle	13				
		Numérique	13				
	Molaires	Conventionnelle	26				
		Numérique	30				
14	Incisivés	Conventionnelle	4				
		Numérique	0				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	2				
Prémolaires		Conventionnelle	9				
		Numérique	12				
	Molaires	Conventionnelle	17				
		Numérique	14				
15	Incisivés	Conventionnelle	2				
		Numérique	4				
	Canines	Conventionnelle	4				
		Numérique	4				
Prémolaires		Conventionnelle	11				
		Numérique	15				
	Molaires	Conventionnelle	10				
		Numérique	10				

Figure 26 : Tableau de comptabilisation des points d'occlusion par méthode conventionnelle et numérique

Zone dentaire	Méthode	Nombre de points
Incisives	Conventionnelle	90
	Numérique	78
Canines	Conventionnelle	65
	Numérique	60
Prémolaires	Conventionnelle	212
	Numérique	218
Molaires	Conventionnelle	294
	Numérique	290

Figure 27 : Tableau récapitulatif du nombre de points enregistrés par zones dentaires par technique conventionnelle et numérique

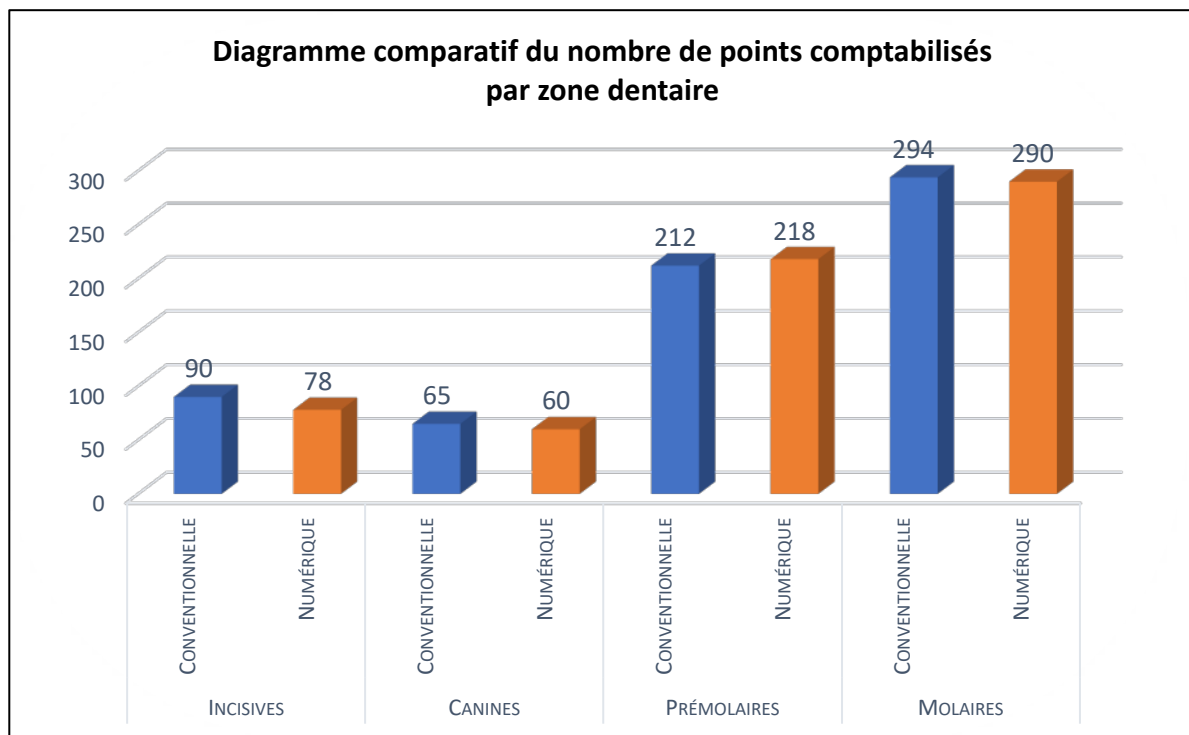


Figure 28 : Diagramme comparatif du nombre de points enregistrés par marqueurs conventionnels ou numérique et par secteur dentaire

	Méthode	Nombre de points
TOTAL	Conventionnelle	661
	Numérique	646

Figure 29 : Tableau récapitulatif du nombre total de points enregistrés par technique conventionnelle et numérique

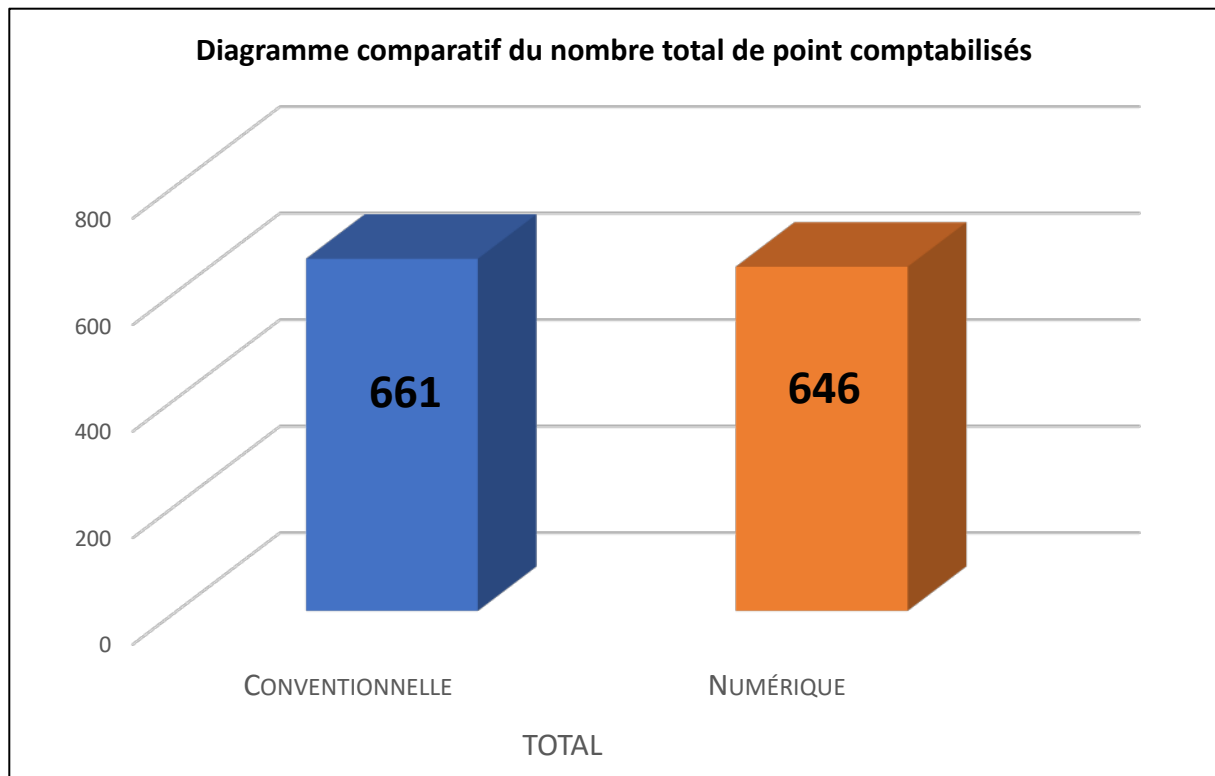


Figure 30 : Diagramme comparatif du nombre total de point comptabilisés par technique conventionnelle et numérique

Test t de Student pour séries appariées :

Nous avons effectué un **test t pour séries appariées** à un **niveau de confiance de 95% ($\alpha = 0.05$)** afin d'amener une valeur statistique à notre comparaison.

- Hypothèse nulle (H_0) : il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des deux échantillons appariés « conventionnelle » et « numérique » ;
- Hypothèse alternative (H_1) : il y a une différence significative entre les moyennes des échantillons appariés « conventionnelle » et « numérique ».

- Taille de l'échantillon : 15 participants ($n = 15$).

- Les données recueillies (nombre de points de contacts comptabilisés par participant) sont les suivantes :
 - o Méthode conventionnelle (1) : 38, 55, 30, 56, 54, 49, 20, 52, 58, 59, 50, 32, 47, 34, 27.
 - o Méthode numérique (2) : 39, 50, 29, 56, 55, 34, 19, 45, 57, 57, 54, 39, 98, 51, 28, 33.
- Les moyennes et écart-types obtenus sont :
 - o Moyenne et écart-type pour la méthode conventionnelle : $X_1 \approx 46,47$; $s_1 \approx 18,65$.
 - o Moyenne et écart-type pour la méthode numérique : $X_2 \approx 45$; $s_2 \approx 22,12$.

Participant	Global		Incisives		Canines		Prémolaires		Molaires	
	Conv	Num	Conv	Num	Conv	Num	Conv	Num	Conv	Num
1	38	39	0	0	4	4	16	16	18	19
2	55	50	8	8	4	4	17	15	26	23
3	30	29	X	X	5	5	4	4	21	20
4	56	56	8	8	6	6	17	17	25	25
5	54	55	9	9	5	5	19	20	21	21
6	49	34	8	0	4	2	17	16	20	16
7	20	19	2	2	4	2	9	9	5	6
8	52	45	12	9	4	4	16	15	20	17
9	58	57	7	7	4	4	18	17	29	29
10	59	57	8	8	6	6	20	16	25	27
11	50	54	10	10	4	4	14	20	22	20
12	32	39	8	9	3	4	12	13	9	13
13	47	51	4	4	4	4	13	13	26	30
14	34	28	4	0	4	2	9	12	17	14
15	27	33	2	4	4	4	11	15	10	10
TOTAL	661	646	90	78	65	60	212	218	294	290
	p = 0.50		p = 0.23		p = 0.17		p = 0.54		p = 0.68	

Figure 31 : Tableau statistique (T-test de Student pour séries appariées)

- Les valeurs p ont été calculées pour chaque groupe dentaire. Elles sont **toutes supérieures à la valeur seuil $\alpha = 0.05$** . Il est cependant remarquable que : (Fig. 31)
 - Les valeurs de p pour les groupes incisives et canines tendent davantage vers la valeur seuil comparées aux valeurs de p des groupes prémolaires et molaires ;
 - La valeur de p global est bien supérieure à la valeur seuil.
- Conclusion du test :
 - Étant donné que toutes les valeurs p sont supérieures au seuil alpha, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y a pas de différence significative entre les moyennes des échantillons appariés « conventionnelle » et « numérique ».
 - Cependant, il est important de noter que les valeurs p des groupes incisives et canines se rapprochent davantage du seuil alpha que celles des groupes prémolaires et molaires, ce qui suggère une tendance à la différence dans ces groupes spécifiques.
 - Dans l'ensemble, compte tenu de la valeur p globale bien supérieure au seuil $\alpha = 0,05$, il n'y a pas suffisamment de preuves statistiques pour conclure à une différence significative entre les moyennes des deux échantillons.

RESULTATS intermédiaires :

L'analyse des contacts occlusaux entre l'empreinte numérique et la photographie après marquage au papier d'occlusion a révélé des **résultats comparables en termes de nombre total de points ainsi que de répartition par zone dentaire.**

Cependant, une **légère augmentation du nombre de points a été observée dans la méthode conventionnelle, notamment dans la zone antérieure des incisives et canines.**

▪ LOCALISATION ET SUPERPOSITION

Afin de déterminer si les points d'occlusion comptabilisés sont également comparables en termes de localisation, nous avons superposé les images et comparé leur position sur l'arcade dentaire ainsi que sur chaque dent individuellement.

Il est illustré uniquement quelques exemples ici :

- **Par superposition** complète et à 50% d'opacité de l'arcade de l'empreinte numérique sur la photographie intra-orale (Fig. 32) ;
- **Par comparaison visuelle** des points de contact visibles unitairement par dent (Fig. 33).

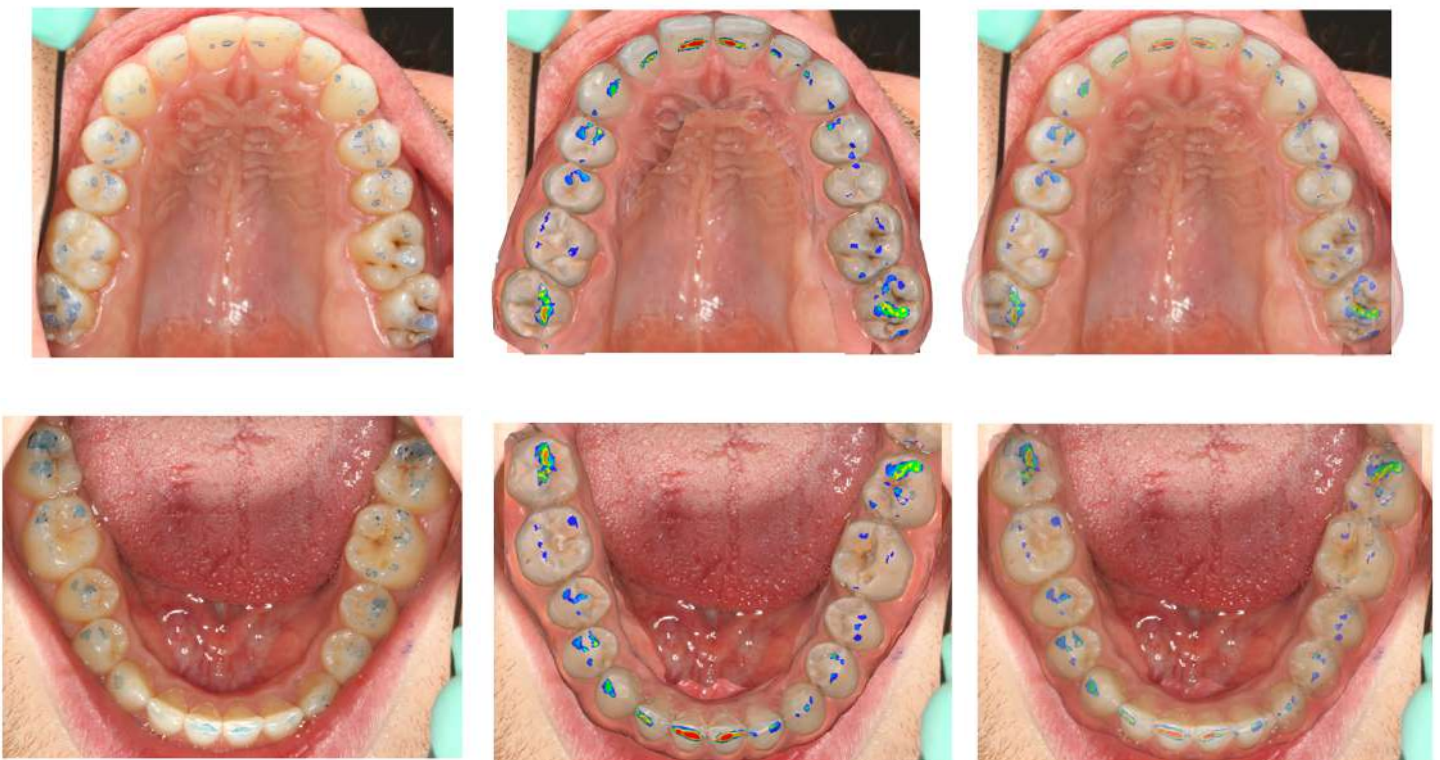


Figure 32 : Superposition de l'arcade numérique sur la photographie intra-orale sans opacité et à 50% d'opacité

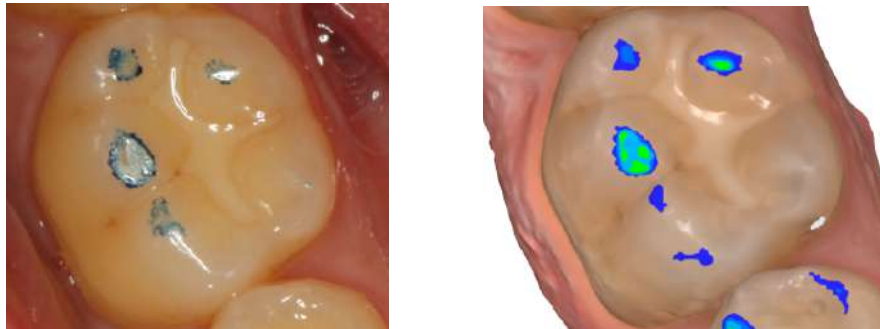


Figure 33 : Comparaison visuelle des contacts occlusaux enregistrés sur une 46 par papier d'occlusion de 100 microns d'épaisseur et par méthode numérique

RESULTATS intermédiaires :

L'analyse de la comparabilité des points d'occlusion en termes de localisation a révélé des observations encourageantes, soulignant une **cohérence des positions des points d'occlusion** entre l'empreinte numérique et la photographie intra-orale.

Dans un premier temps, la superposition complète de l'arcade de l'empreinte numérique sur la photographie intra-orale a montré un bon alignement global des structures dentaires. Les zones de chevauchement présentaient une correspondance étroite entre les points d'occlusion enregistrés par les deux méthodes, suggérant une concordance dans la localisation des contacts occlusaux.

De plus, une analyse visuelle des points de contact individuels par dent a confirmé cette observation. Les points d'occlusion étaient souvent alignés et positionnés de manière cohérente sur les dents.

Il convient de noter que les exemples illustrés ici ne représentent qu'un échantillon limité des observations effectuées lors de l'étude. Cependant, ces exemples fournissent un aperçu représentatif de la cohérence observée dans la localisation des points d'occlusion entre les deux méthodes.

▪ PRÉCISION ET EXACTITUDE :

En ce qui concerne la comparaison de la précision et de l'exactitude des 2 méthodes, il n'y a pas de critères qui ont été définis. Il s'agit davantage de faire appel au sens logique et clinique ainsi que par la mise en évidence d'avantages et défauts de ces deux outils.

- **Évaluation quantitative des contacts (précision) :**

Il est beaucoup plus simple de quantifier la force des contacts par méthode numérique que conventionnelle grâce à l'échelle numérique de couleur.



Figure 34 : Comparaison de la visualisation de l'intensité des contacts inter-occlusaux par papier marqueur et numérique

Sur cet exemple, la quantification de l'intensité du contact sur 11 et 21 est bien plus aisée par méthode numérique. (Fig.34)

- **Faux contacts/Faux positifs (exactitude) :**

Le papier d'occlusion laisse des « traces » qui compliquent et faussent la lecture. L'enregistrement numérique de l'occlusion se fait en position fermée et bloquée. Les contacts générés ne sont donc pas issus d'un trajet de fermeture dévié. (Fig. 35)

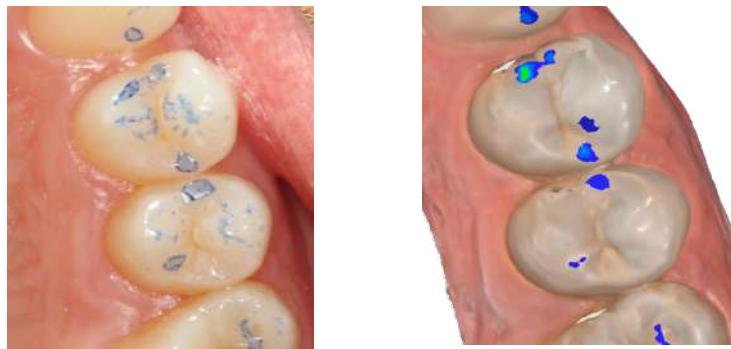


Figure 35 : Comparaison de la facilité de lecture des contacts inter-occlusaux par papier et marqueur et méthode numérique

RÉSULTATS intermédiaires :

L'empreinte numérique fait preuve de plus de précision dans l'analyse des points de contacts en offrant des outils et une représentation visuelle plus intuitifs.

COMPARAISON DE L'OCCLUSION DYNAMIQUE

La comparaison de l'occlusion dynamique s'est faite selon des critères visuels qui restent à démontrer car il a été impossible de définir des critères de comparaison valides sur ces deux techniques.

La reproduction du mouvement dynamique semble **fidèle** à ce qui est observé en bouche. (Fig. 36)



Figure 36 : Visualisation d'une diduction gauche et de sa représentation numérique




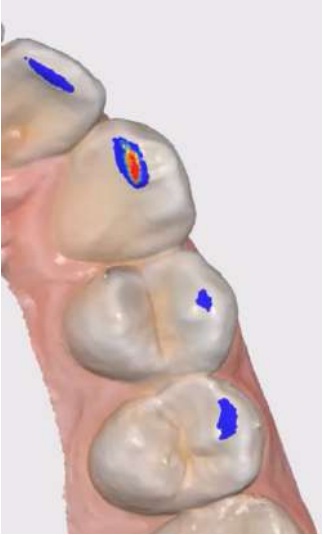
En revanche, une anomalie est remarquée :

- Lorsque l'enregistrement du mouvement de diduction droit est effectué du côté droit :
 - La reproduction du mouvement et des contacts travaillants (côté droit) est bonne ;
 - La reproduction du mouvement et des contacts non travaillants (côté gauche) manque de précision.
- Lorsque l'enregistrement du mouvement de diduction droit est effectué du côté gauche :
 - La reproduction du mouvement et des contacts travaillants (côte droit) manque de précision. Il existe un espace d'in-occlusion et la reproduction n'est pas totalement fidèle.
 - La reproduction du mouvement et des contacts non travaillants (côté gauche) est correcte.

La même observation est constatée pour l'enregistrement du mouvement de diduction gauche.

Illustration par un exemple :

Un enregistrement de la **diduction gauche** a été réalisé du côté droit, puis du côté gauche sur un même participant, dans la même séance, par le même opérateur. Le mouvement a été validé visuellement en bouche par un second opérateur et l'échelle numérique de couleur est restée inchangée.

MOUVEMENT DE DIDUCTION GAUCHE		
	Enregistrement côté droit	Enregistrement côté gauche
Vue latérale côté travaillant		
Vue occlusale côté travaillant (gauche)		

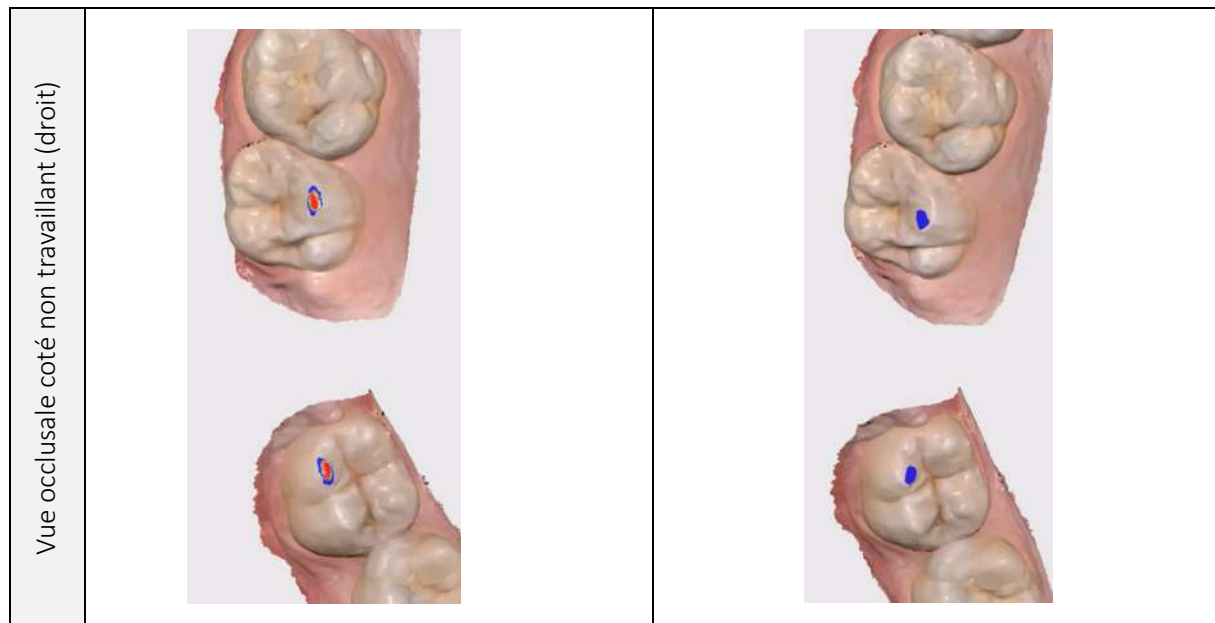


Figure 37 : Tableau comparant la représentation numérique d'une diduction gauche par un enregistrement du côté gauche et du côté droit

Il est notable que : (Fig. 37)

- Pour l'enregistrement du côté droit : contact de moindre intensité côté travaillant, contact de plus forte intensité côté non travaillant ;
- Pour l'enregistrement du côté gauche : contact de moindre intensité côté non travaillant, contact de plus forte intensité côté travaillant.

RESULTATS intermédiaires :

L'enregistrement dynamique des mouvements mandibulaires par caméra numérique offre une **reproduction fidèle** de ceux-ci.

En revanche, il semble y avoir une **sous-évaluation de l'intensité des contacts du côté opposé à l'enregistrement du mouvement.**

2.5. Discussion

2.5.1. Biais potentiels identifiables de l'étude

➤ Biais d'échantillonnage :

- L'échantillon est de petite taille (n=15)
- L'échantillon n'est pas représentatif de la population générale : uniquement des étudiants en odontologie volontaires avec une occlusion fonctionnelle et familiers avec les outils numériques.

➤ Biais techniques et cliniques :

- Facteurs cliniques : mouvements, salive, sang, zones difficiles à atteindre, langue, muqueuse mobile, buée sur la caméra. Ces éléments peuvent différencier la qualité d'une empreinte optique intra-orale comparativement à celle sur un modèle en plâtre. (17)

- Difficulté technique : complexité à assurer un axe identique des images permettant leur superposition parfaite. Cependant, la superposition réalisée ici accompagnée d'une comparaison visuelle suffisent à valider un positionnement comparable des points d'occlusion sur les arcades et les dents.

➤ Biais d'observateur :

Il s'agit du facteur **opérateur-dépendant** (18):

Dans la présente étude, tous les scans ont été réalisés par un seul investigateur pour minimiser la variabilité inter-opérateurs. Lim et al. ont rapporté que l'expérience de l'opérateur affectait la précision de certains scanners intraoraux.

De plus, une étude faisant appel à 400 praticiens a suggéré qu'ils « interprètent subjectivement » les mauvaises marques de papier d'articulation dans 88% des cas.(19,20) C'est pourquoi des critères de comparaison ont été établis préalablement à toute comptabilisation des points.

➤ Biais expérimental :

Depuis 2002, la plupart des études concernant l'occlusion numérique ont été basées sur des modèles en plâtre. (21)

Nous avons réalisé un **protocole in-vivo** qui se rapproche au plus d'une expérience de pratique clinique à laquelle les chirurgiens-dentistes sont confrontés.

La précision des mouvements est dépendante en partie des participants, à l'opposé d'un protocole in-vitro qui supprime cette variable. Or l'intérêt était de démontrer une précision clinique, les résultats sont donc destinés à être interprétés dans ce sens.

2.5.2. Discussion des résultats

➤ Données aberrantes :

Lorsque nous avons examiné la répartition des points d'occlusion par zone dentaire, nous avons constaté que les deux méthodes présentaient des résultats similaires dans la plupart des cas.

Cependant, une légère augmentation du nombre de points d'occlusion a été observée dans la méthode conventionnelle pour les incisives. Cette différence peut être attribuée à :

- La possibilité de **faux contacts générés par le papier d'occlusion** dû à un glissement des incisives mandibulaire sur la pente de guidage des incisives maxillaires guidant le mouvement de fermeture jusqu'à l'OIM, ce qui peut entraîner une surestimation du nombre de points d'occlusion dans la méthode conventionnelle. (22)
- Une **approximation de l'épaisseur** entre celle du papier d'occlusion réel et virtuel. L'échelle est ajustable numériquement. Il suffit que l'échelle ne soit pas adaptée pour un cas et certains points d'occlusion ne vont pas être comptabilisés.

Une étude publiée dans le JPD a réalisé un protocole similaire et a mis en évidence que les contacts virtuels qui n'avaient pas d'enregistrement clinique équivalent étaient généralement de faible intensité. (23)



Figure 38 : Images illustrant la conséquence d'une approximation de l'épaisseur de marquage virtuelle et conventionnelle sur la comptabilisation des points d'occlusion

Dans cet exemple, les points d'occlusion sur les incisives mandibulaires n'ont pas été comptabilisés pour l'empreinte numérique alors qu'ils sont marqués par le papier d'occlusion et qu'ils ont été vérifiés en bouche.

On remarque qu'en élargissant l'épaisseur virtuelle de marquage, les points d'occlusion finissent par apparaître. (Fig. 38)



Figure 39 : Image illustrant les faux contacts générés par le papier marqueur et comptabilisés comme point dans l'étude

En revanche, ici nous remarquons bien l'existence d'un faux contact antérieur dû à une fermeture et un marquage en bout-à-bout incisif et non pas en OIM directement. (Fig. 39)

Le papier d'occlusion peut donc faire preuve d'un manque de justesse car il existe des marquages de contacts « impossibles » en OIM et qui ne sont pas cohérents.

Le papier articulé fait aussi preuve d'imprécision dans le sens où il laisse plus de « **traces** » rendant la lecture plus compliquée, contrairement aux points plutôt bien définis de l'empreinte numérique. (Fig. 35) De plus, les études sur les marques de papier d'occlusion démontrent clairement qu'une large marque de couleur indique un fort point de contact dans seulement 14% des cas.(24)

➤ **Importance de l'endroit d'enregistrement de l'occlusion** : (25,26)

- Pour l'occlusion statique :

Il est important de noter que la réalisation d'un scan vestibulaire uniquement d'un côté peut provoquer une imprécision jusqu'à 200 microns d'imprécision du côté non enregistré.

Il n'y a pas de différence de précision de l'OIM entre les scans demi-arcade et complet-arcade, mais une **diminution de la précision s'il n'est pas bilatéral**. (26)

Une étude in vitro d'Octobre 2023 avait pour but de comparer l'exactitude du montage numérique en utilisant deux scanners intra-oraux et deux méthodes de numérisation occlusale. (27)

Ils ont utilisé des modèles en résine avec des billes de zircone positionnées à des endroits stratégiques. Les scannages puis les mesures de distances entre les billes ont été réalisées après étalonnage. (Fig. 40)

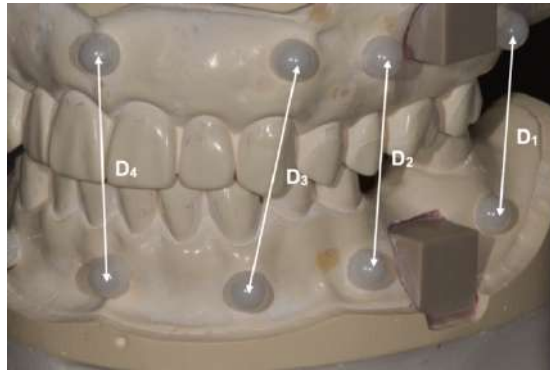


Figure 40 : Modèles et billes en zircone utilisés dans l'étude de Cheolho Cha, schématisation des distances comparées

Les résultats ont établi qu'il existe une **différence significative dans la précision intra-arcade** entre les caméras, et la différence a influencé la précision du montage numérique. Le **type de balayage** occlusal (antérieur ou bilatéral) a également influencé de manière significative la précision du montage numérique. Les deux caméras ont produit des **distances inter-arcades réduites dans la zone des deuxièmes molaires**. (27)

- Pour l'occlusion dynamique :

Nous avons remarqué dans notre étude, une fiabilité relative de la reproduction du mouvement et des contacts en dynamique : **manque de précision et sous-estimation de l'intensité des contacts du côté opposé à l'enregistrement**.

Il n'est actuellement pas possible d'enregistrer en même temps (par exemple) une diduction droite du côté droit et du côté gauche. Il faudrait soit deux caméras simultanément positionnées de chaque côté, soit effectuer un enregistrement d'abord du côté droit puis du côté gauche, mais cela pose un problème de superposition des mouvements qui ne seront jamais identiques entre deux enregistrements. Des pistes de réflexion et d'amélioration sont ouvertes afin de palier à ce manque de précision.

➤ Matériel utilisé :

Il existe des différences de précision et de justesse entre les différentes **marques et modèles** de caméras. Cette précision est aussi affectée par l'étendue de scannage (quadrant ou sextant) pour certaines caméras. (27–29)

Notre étude aurait pu être influencée par le modèle de notre caméra mais des études ont montré la **fiabilité de la Medit i700** (30).

➤ Influence de la force occlusale sur l'enregistrement de l'occlusion par papier d'occlusion ou caméra-intra-orale :

- L'étude de 2023 de M. Okamoto, et al. : (31)

Elle suggère que la zone de contact occlusal varie en fonction de la force de morsure lors de l'utilisation de matériaux d'empreinte en silicone conventionnels ou de méthodes de numérisation intra-orale optiques pour l'enregistrement inter-occlusal. Ils ont réalisé un enregistrement de la première

prémolaire à la deuxième molaire, puis un enregistrement de l'occlusion par numérisation. Pendant la numérisation inter-occlusal, les participants ont reçu pour consigne de, successivement, "mordre normalement", "mordre légèrement" et "mordre fortement" pour obtenir des données pour les trois schémas occlusaux (Fig. 41). Grâce à la superposition des données, il a été montré qu'il existait une différence significative dans le déplacement des dents entre les 3 conditions et que l'indication de « mordre fortement » présentait le moins de déplacement (Fig. 42).

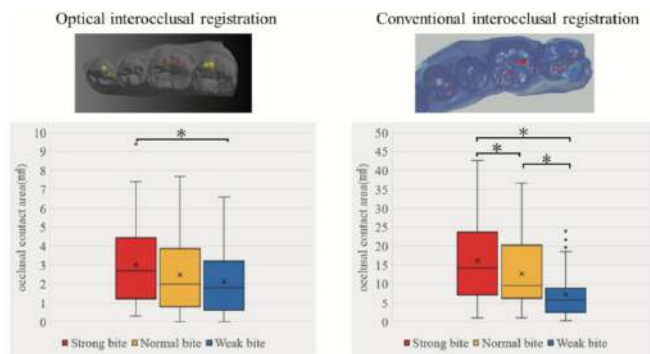


Figure 42 : Diagramme montrant l'influence de la force occlusale sur la surface de contact occlusale. Plus le serrement occlusal est fort, plus la surface de contact est forte (M. Okamoto, et al.)

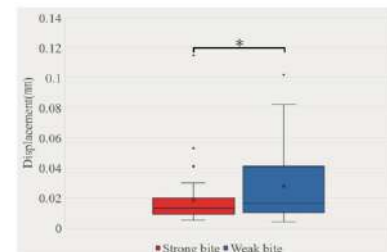


Figure 42 : Diagramme montrant une différence significative dans le déplacement dentaire entre un serrement fort et faible. Il y a moins de déplacement dans les 3 plans de l'espace avec un serrement fort (M. Okamoto, et al.)

- L'étude de 2007 de Jason P. Carey : (16)

Elle est plus nuancée. Il a essayé de prendre en compte l'effet de cette variable uniquement sur du papier d'occlusion. Son observation remet en question le fait que la taille d'une marque de papier articulé donne une indication sur l'intensité du contact, et que des marques de taille similaire indiquent des charges occlusales appliquées similaires. Il a cependant trouvé une tendance générale à une augmentation de la surface de marque avec l'augmentation de la charge.

➤ Autres facteurs :

Réalisée par Marta Revilla-Leon, une revue systématique de la littérature récente publiée en septembre 2023 incluant finalement 29 articles, résume les facteurs influençant la précision des contacts intermaxillaires en OIM acquis par une caméra-intraorale : (26)

- Pas d'influence d'une héli-arcade ou d'une arcade complète sur la précision de l'OIM si enregistrement correct ;
- Diminution de la précision de l'OIM si présence d'une zone avec 2 dents manquantes ou plus ;
- Un enregistrement occlusal bilatéral et frontal comprenant 2 dents ou un enregistrement occlusal postérieur bilatéral comprenant au moins 4 dents est indiqué pour maximiser la précision de la MIP.

➤ Degré de précision :

Dans le cadre de cette étude visant à évaluer la précision de la caméra numérique dans l'enregistrement de l'occlusion, il est essentiel de souligner que les mesures effectuées par les appareils sont d'une précision de l'ordre du micron. Bien que certains défauts aient pu être identifiés, il est important de les contextualiser par rapport à la pratique clinique. En effet, ces **imperfections ne sont pas plus significatives dans le contexte numérique que dans les méthodes conventionnelles**. Il convient de

considérer les erreurs potentielles introduites à chaque étape du processus conventionnel, telles que la prise d'empreinte, le moulage, le nettoyage, le montage en articulateur, ainsi que les variations dues à l'expansion de la prise, entre autres. (32)

Cet aspect est donc à nuancer et nous pouvons soutenir que le **degré de précision de cet outil est suffisant** pour une analyse dans le cadre d'une consultation occlusale ou d'une conception prothétique.

Ainsi, comme rappelé dans une revue récente de *Revilla-León M* (2023) faisant l'état des lieux des outils numériques utilisés en occlusion, il faut garder à l'esprit que pour optimiser l'intégration des technologies numériques en odontologie, il est crucial de bien **comprendre les limites et l'état actuel** du développement des méthodes d'acquisition numérique pour l'enregistrement de l'occlusion statique et dynamique d'un patient. Cela inclut l'utilisation des caméras intra-orales et des dispositifs d'enregistrement de la cinématique mandibulaire. (33)

2.5.3. Point sur la littérature actuelle

Au vu de l'évolution très rapide des technologies numériques et de scannage intra-oral, la recherche d'articles s'est faite au maximum sur des publications récentes.

Auteurs (année)	Type d'étude	Taille échantillon	Matériel / SIO	Méthode d'analyse	Résultats
Biadsee et al (2023) (23)	In vivo	20 couronnes monolithiques	- CEREC Omnicam ; Dentsply Sirona - Papier articulé 12 et 200 µm	- Comparaison d'images - Comparaison de la localisation et de l'intensité des contacts - Note globale de précision	SIO > CONV
Solaberrieta et al (2015) (34)	In vitro	6 jeux de modèles max et mand	- Scanner 3D ATOS Compact Scan 5M - Papier articulé 8 et 20 µm	- Superposition photographique - Calcul de la déviation des points entre les 2 méthodes	SIO = CONV
Rovira-Lastra et al (2023) (35)	In vivo	32 adultes	- TRIOS 3 ; 3Shape A/S - Occlufast ; Zhermack - Papier articulé 12, 40, 100, and 200 µm - T-Scan	- Enregistrement des données par les différentes méthodes - Mise en rapport par des niveaux de gris - Superposition et calculs statistiques comparatifs des surfaces de contacts enregistrées	200-µm > SIO > 100-µm
Edher et al (2018) (25)	In vitro	1 jeu modèle maître	- CEREC Omnicam ; Dentsply Sirona	- Enregistrement de l'arcade complète et quadrants - Comparaison de la précision de l'occlusion virtuelle dans les 2 méthodes	Quadrant > Complète
Eneko Solaberrieta (2016) (36)	In vivo	4 adultes	- Lava Cos (3M Espe), Zfx Intrascan (MHT Technologies) et Trios 3-Shape (Phibo) - Papier articulé 8 µm	- Empreintes alginate et numérique des 2 arcades - Comparaison de justesse de l'occlusion sur une molaire en fonction du lieu d'enregistrement	SIO > CONV

Figure 43 : Tableau de comparaison de la justesse des empreintes numériques VS conventionnelles dans différentes études

2.6. Conclusion de notre étude

L'objectif initial de notre étude était de comparer les méthodes conventionnelle et numérique pour évaluer les points d'occlusion, à la fois en situation statique et dynamique.

Dans l'évaluation statique, nos résultats révèlent qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux approches en termes de nombre total de points d'occlusion. Toutefois, une disparité plus marquée a été relevée au niveau des dents antérieures, susceptible d'être attribuée à des divergences méthodologiques entre les deux techniques.

En ce qui concerne l'évaluation en dynamique, la reproduction des mouvements mandibulaires par la méthode numérique s'est avérée fidèle à ce qui est observé en bouche, en revanche, des défis persistent, notamment en ce qui concerne la précision des contacts du côté opposé à l'enregistrement.

Pour conclure, les résultats de notre étude tendent à démontrer la **fiabilité de l'enregistrement numérique de l'occlusion**, avec une bonne répartition tant en nombre qu'en localisation des contacts occlusaux sur l'arcade dentaire et sa **comptabilité avec un usage en pratique clinique**. De plus, il semble même offrir une précision, une justesse et une facilité de lecture supérieures à l'enregistrement conventionnel par papier d'occlusion.

Des études supplémentaires, avec un échantillon de plus grande taille, sont nécessaires pour confirmer les résultats de ce travail. De plus, ces études devraient comparer tous les SIO de dernière génération.

2.7. Bilan des recommandations de bonnes pratiques

Pour donner suite à ces observations et résultats, voici des recommandations afin d'optimiser la fiabilité de l'outil numérique dans l'enregistrement de l'occlusion :

- **Choix de la caméra** : sélectionner une caméra intra-orale offrant des performances optimales en termes de précision et de fiabilité ;
- **Instruction au patient** : vérifier la position mandibulaire et encourager le patient à mordre fortement pour minimiser les déplacements et assurer la reproductibilité des résultats ;
- **Préparation des modèles** : Nettoyage des modèles (détourage) afin de minimiser les artéfacts et maximiser la précision ;
- **Zone d'enregistrement** : privilégier les scans de quadrant pour les restaurations unitaires afin d'obtenir une représentation occlusale plus précise. Pour les scans d'arcade complète à des fins diagnostiques, privilégier les enregistrements interocclusaux bilatéraux ou dans la région antérieure. Si le logiciel ne permet pas plusieurs enregistrements, choisir des enregistrements uniques proches des zones d'intérêt.
- **Mouvement de diduction** : opter pour l'enregistrement du côté travaillant ou d'intérêt lors de la capture du mouvement de diduction.
- **Information au prothésiste** : informer le prothésiste de la possibilité d'une diminution de la distance inter-arcade au niveau des deuxième molaires par le logiciel et donc du risque de réaliser une couronne légèrement en sous-occlusion.

IV. IMPLICATIONS EN PRATIQUE CLINIQUE

Nous avons montré qu'un enregistrement occlusal virtuel est suffisamment fiable pour transférer les modèles maxillaires et mandibulaires en vue de réaliser une analyse occlusale ou une conception prothétique simple.

Il est présenté dans cette partie quelques applications et pistes de réflexion qui ont fait suite à la réalisation de ce protocole d'étude.

1. Le numérique en occlusion : Utilisation de Medit Occlusion Analyser®

L'empreinte optique n'a pas uniquement une visée prothétique. Elle fait partie intégrante du **dossier médical** du patient. L'analyse occlusale impose d'observer la qualité des contacts inter-arcades en statique et dans les mouvements mandibulaires. Elle nous permet donc de constituer un véritable dossier occlusal et servir à l'élaboration d'un diagnostic et d'un projet thérapeutique précis.

C'est ici que l'outil numérique prend sa place dans notre travail. Il vient **compléter l'examen occlusal en fournissant des informations précieuses que l'on ne peut pas observer cliniquement. Ces informations sont disponibles immédiatement et exploitables directement après une prise d'empreinte.**

À la suite d'un enregistrement numérique des deux arcades, de l'occlusion et des mouvements dynamiques mandibulaires, il est possible de démarrer une **séquence d'analyse de l'occlusion statique et dynamique.**

Les enregistrements ont été réalisés avec une caméra Medit i700W et l'analyse occlusal avec le logiciel Medit Occlusal Analyser® intégré dans les fonctionnalités du logiciel Medit®.

1.1. Analyse de l'occlusion statique

Après implantation des informations enregistrées dans le logiciel Occlusion Analyser®, il est directement ouvert une page où le logiciel **détecte automatique** des zones de contacts plus importantes avec des valeurs chiffrées millimétrées. (Fig. 44)

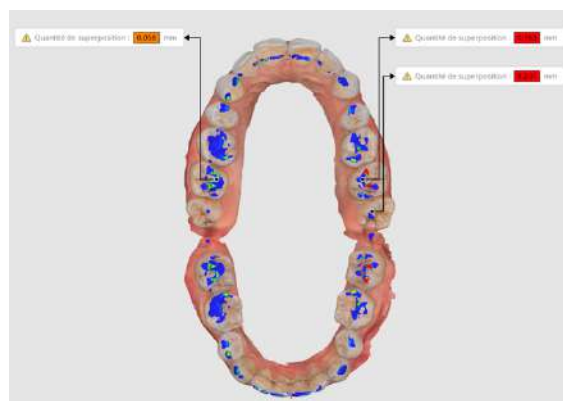


Figure 44 : Détection automatique des zones de surcontact par le logiciel Medit Occlusion Analyser®

Il est possible d'ajuster l'**échelle des valeurs colorées** pour affiner la précision.

Il existe un onglet permettant de réaliser une analyse plus précise des zones détectées par le logiciel. Une **coupe transversale** est dessinée sous forme de silhouette. Cette coupe peut être orientée dans les 3 plans de l'espace et déplacée sur toute l'arcade.

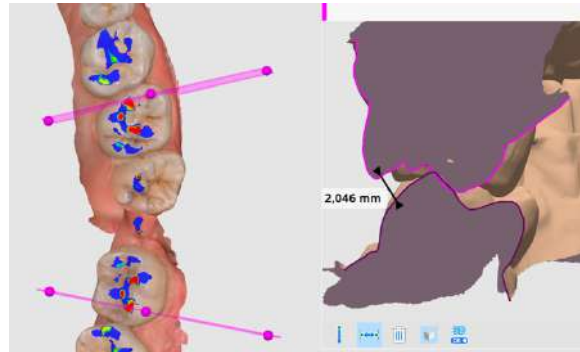


Figure 45 : Vue en coupe et prise de mesures possibles

Nous remarquons cette zone de surcontact entre la cuspidé mésio-vestibulaire la 37 et la crête marginale mésiale de la 26. De plus, des **mesures de distance entre 2 points** sont possibles. (Fig. 45)

Nous voyons là l'intérêt de ces coupes et de cette analyse qui est impossible à réaliser en bouche et difficilement évaluable aussi précisément par une analyse sur articulateur.

1.2. Analyse de l'occlusion dynamique

À la suite de l'enregistrement dynamique des mouvements mandibulaires, la reproduction des déplacements enregistrés est **immédiate**. Les contacts et trajets en contacts sont matérialisés par des tracés colorés de plus ou moins forte intensité.



Figure 46 : Mise en évidence d'une interférence occlusale postérieure travaillante lors d'une diduction droite dans le logiciel Medit Occlusion Analyser®

Les mouvements peuvent être reproduits à vitesse plus lente et temps par temps. Leur analyse peut être effectuée sous **tous les angles**. Les contacts sont donc analysés de manière précise et complète dans leur temporalité contrairement au papier articulé qui donne uniquement la résultante du mouvement complet. La mise en évidence d'une interférence est alors simplifiée. (Fig. 46)


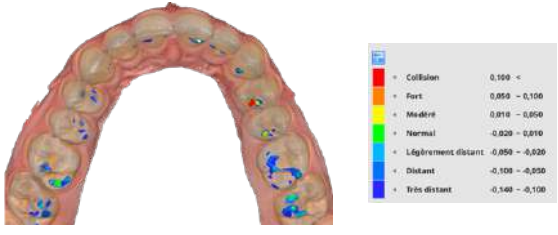




1.3. Déroulé d'une consultation occlusale avec outils conventionnels VS empreinte numérique

Comme décrit dans la partie I, une consultation occlusale s'effectue selon un schéma bien construit. Maintenant que nous avons démontré la confiance que nous pouvons apporter à cet outil numérique dans le domaine de l'occlusion, nous allons voir comment l'intégrer dans cette consultation occlusale et le comparer au déroulement conventionnel.

	Consultation conventionnelle	Consultation avec empreinte numérique « Medit »
Entretien clinique oral (douleurs, habitudes nocives, symptômes subjectifs, traitements antérieurs...)		
Examen visuel (posture de la tête, amplitude et trajet d'ouverture, trajet de fermeture vers l'OIM, claquement répétitif et rapide...)		
Examen dentaire complet (dentaire, parodontal...)		
Examen clinique occlusal (contrôle visuel de la position mandibulaire et des arcades dans les 3 plans de l'espace, palpation des ATM, observation des mouvements mandibulaires, examen des fonctions occlusales de calage, centrage, guidage)		
<i>A ce stade, des outils et méthodes supplémentaires sont nécessaires à la réalisation complète et à l'aboutissement de la consultation occlusale</i>		
Séance 1 (suite)	<ul style="list-style-type: none"> - Marquage des contacts et mouvements au papier d'occlusion + prise de photos - Empreintes alginales et réalisation des moulages - Enregistrement de l'occlusion par différentes méthodes (cires/silicones d'occlusion, maquettes...) 	Empreintes numériques , enregistrement de la position d'OIM (et de RC possiblement) et des mouvements mandibulaires. Disposition immédiate des informations pour analyse
Séance 2	Réception : confrontation des moulages en OIM (si possible selon la stabilité de l'occlusion) et analyse	/
Séance 3	Enregistrement des mouvements mandibulaires (diductions) pour montage sur articulateur	/
Séance 4	Réception et analyse sur articulateur	/

En envisageant une réorganisation de la consultation, il serait envisageable d'effectuer l'empreinte numérique immédiatement après l'examen visuel, permettant ainsi d'obtenir rapidement des informations complémentaires pour établir un diagnostic précis et faciliter la communication avec le patient.

Dans cette perspective, l'empreinte optique pourrait être assimilée à un examen complémentaire, au même titre que la radiographie panoramique, dans le processus diagnostique et thérapeutique en dentisterie. La consultation occlusale est optimisée en temps de réalisation et en communication.

Carte occlusale	
 <p data-bbox="204 965 783 1037">Nécessite la prise de photo et l'utilisation de multiples papiers d'occlusion.</p>	 <p data-bbox="810 965 1390 1037">Conversation possible dans le temps et échelle de valeurs ajustable.</p>
Prise de mesures	
 <p data-bbox="204 1346 783 1417">Nécessite l'utilisation d'un pied à coulisse</p>	 <p data-bbox="810 1346 1390 1417">Peut se faire directement avec l'outil intégré du logiciel</p>
Analyse occlusale	
 <p data-bbox="204 1794 783 1865">Nécessite un montage en articulateur</p>	 <p data-bbox="810 1794 1390 1865">Peut se faire directement sur le logiciel à la suite de la prise d'empreintes et de l'occlusion</p>

Il est remarquable avec ces tableaux, que l'utilisation de la caméra numérique au cours d'une consultation occlusale permette au praticien :

- De **diminuer le nombre de séances** nécessaire (37) et un gain de temps dans la réalisation (38) ;
- De **disposer directement** des informations désirées avec une visibilité beaucoup plus intuitive ;
- D'augmenter le **confort** du patient (39) ;
- Une **simplicité d'exécution** : cela évite des étapes fastidieuses et chronophage souvent négligées (enregistrement des cires de diduction et validation du montage en articulateur) ;
- Transfert des données et externalisation
- D'assurer la **qualité** de l'empreinte et des informations enregistrées : Notre protocole a essayé de le démontrer et de nombreuses études vont en ce sens. L'empreinte numérique n'est pas déformable et n'est pas soumise aux propriétés physiques des matériaux d'empreinte. De plus sa transmission directe au laboratoire évite de nombreuses étapes pouvant intégrer des erreurs de manipulation (transport, conservation, coulée de l'empreinte, mise en die...) (32,40) ;
- Une **minimisation des biais subjectifs** d'analyse ;
- D'assurer la **reproductibilité** et l'**archivage** : que ce soit pour établir un suivi numérique de l'occlusion dans un but diagnostique (dans des cas de bruxismes ou de DTM) ou dans un but prothétique, les informations peuvent être conservées facilement (41) ;
- Une **quantification** des données : avec la possibilité de quantifier une zone de surcontact (chiffrée et colorée) ;
- **Personnaliser** au maximum le traitement de son patient.

1.4. Intérêts dans la conception prothétique

La réalisation de prothèses dentaires est un acte quotidien au cabinet dentaire.

Il est maintenant de plus en plus démontré que les technologies numériques offrent une alternative fiable aux techniques conventionnelles pour la fabrication de prothèses partielles fixes à trois éléments, qu'elles soient soutenues par des dents ou des implants. (42,43)

Par nos méthodes conventionnelles : prise d'empreinte de la (les) préparation(s) coronopériphérique(s), empreinte antagoniste, enregistrement de l'occlusion ; l'occlusion dynamique est souvent laissée de côté et l'utilisation de l'articulateur est souvent limité à des critères de restaurations prédéfinis : prothèses de grande étendue, réhabilitation complète, remontée de DVO...

Or, disposer désormais d'un système qui nous permet d'enregistrer rapidement et de transmettre des informations sur les mouvements dynamiques et les contacts qui en découlent représente une évolution significative.

Cela permet de confectionner des **prothèses plus respectueuses des fonctions occlusales** des patients tout en limitant des retouches chronophages en bouche car nécessitant parfois des modifications trop importantes nuisant à la qualité de la prothèse ou à une réfection totale.

En revanche, l'utilisation de ce système d'enregistrement de l'occlusion numérique par caméra optique reste **limitée**. Il reste insuffisant pour une analyse fonctionnelle de plus grande étendue ou la confection de prothèse de grande étendue. Des systèmes complémentaires sont proposés sur le marché tels que le Modjow®.

1.5. Outil de communication

1.5.1. Avec le patient

L'empreinte numérique et l'analyse occlusale qui en découle est un véritable outil de communication avec le patient. Il permet d'offrir une **visualisation complète, précise et très intuitive** du diagnostic et thérapeutiques proposées.

L'**implication dans leur santé** et l'**acceptation des plans de traitement** se trouve majorée avec ce système. (44) En permettant :

- De pouvoir lui offrir une explication visuelle et pédagogique de sa pathologie ou désordres occlusaux ;
- De faire adhérer le patient à son plan de traitement ;
- De pouvoir potentiellement lui rédiger et imprimer (avec des photos) un rapport de consultation. *Ceci est une idée qui va être soumise à la société de conception de la caméra et des logiciels.*

1.5.2. Avec le prothésiste

1.5.2.1. Occlusion statique

Selon un article de *Ahmed Rabiey* et *Adrien Valdres* paru dans l'AO News, deux différences majeures se distinguent avec la technique conventionnelle : (45)

- Il est possible d'observer des **interpénétrations** entre les modèles numériques qui sont impossibles à visualiser en flux conventionnel avec l'utilisation de modèles physiques. Ceci est sûrement dû à la laxité ligamentaire s'opérant lors de la prise d'occlusion. Ces interpénétrations doivent être mises en rapport avec la situation clinique.
- Il est possible et juste d'enregistrer un rapport d'occlusion reproductible mais qui aurait nécessité un bourrelet d'occlusion pour une empreinte hémi-arcade en flux conventionnel. La situation « **bloquée** » numériquement ne l'ai pas avec un affrontement des modèles. (Fig. 47)

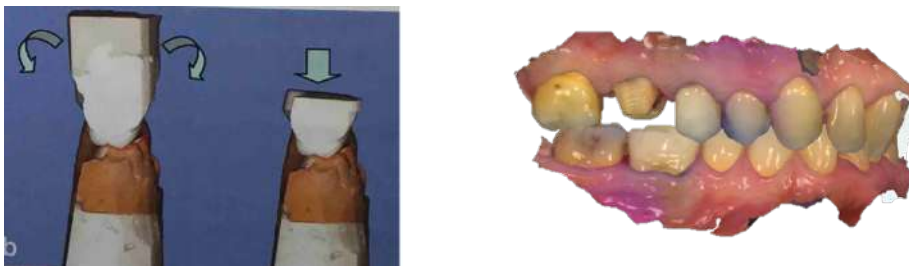


Figure 47 : Intérêt du « blocage » de l'occlusion des empreintes sectorielles numériques comparé aux empreintes sectorielles conventionnelles

Le « blocage » de cet occlusion numérique est un outil indéniable dans les cas d'in-occlusion extrême. Cela peut éviter des enregistrements d'occlusion clinique conventionnels qui peuvent s'avérer fastidieux.

Comme dans ces deux exemples où l'enregistrement numérique permet une analyse directe des zones de surcontact et un affrontement des modèles imprimés à l'aide des tiges de repositionnement confectionnées numériquement. (Fig. 48)



Figure 48 : Cas d'in-occlusion sévère enregistrés à l'aide des caméras intra-orales 3-Shape et Medit (Cas du Dr DUMINIL G.)

1.5.2.2. Occlusion dynamique

L'enregistrement de la dynamique mandibulaire par le biais d'une caméra numérique permet une collaboration plus étroite entre le prothésiste et le praticien. En effet, cela permet de fournir des informations plus complètes et précises pour une qualité prothétique optimale :

- **Intégration de la cinématique mandibulaire dans la conception prothétique et l'équilibration occlusale ;**
- Décomposition et observation du mouvement pas à pas
- Disposer d'informations basées sur la cinématique réelle du patient, et non pas issues d'une cinématique résultant d'un simulateur.

1.6. Avantages et limites du système Medit Occlusion Analyser®

Par ces exemples, nous avons pu montrer les avantages nombreux d'un tel outil dans l'examen occlusal et la conception prothétique. Les inconvénients se résument à des arguments logiques (**utilisation limitée** : insuffisant pour une analyse fonctionnelle de plus grande étendue ou reconstruction prothétique totale) ou discutables.

Le **coût** n'est aujourd'hui plus un argument valable. De nombreuses études montrent la rentabilité d'un tel investissement sur le long terme (46). De plus, les praticiens qui s'équipent d'une caméra à des fins

de réalisations prothétiques peuvent disposer d'un outil d'analyse occlusale inclus et évite donc l'investissement dans un système supplémentaire tel que le T-Scan® ou l'Occlusense®. « **La dépendance aux technologies** » n'est plus un argument recevable dans cette génération où le tout numérique et l'IA entrent dans les mœurs de la société. Le risque de **pertes de données** ? Nombre de fois où des modèles ont été égarés dans le parcours praticien-prothésiste.

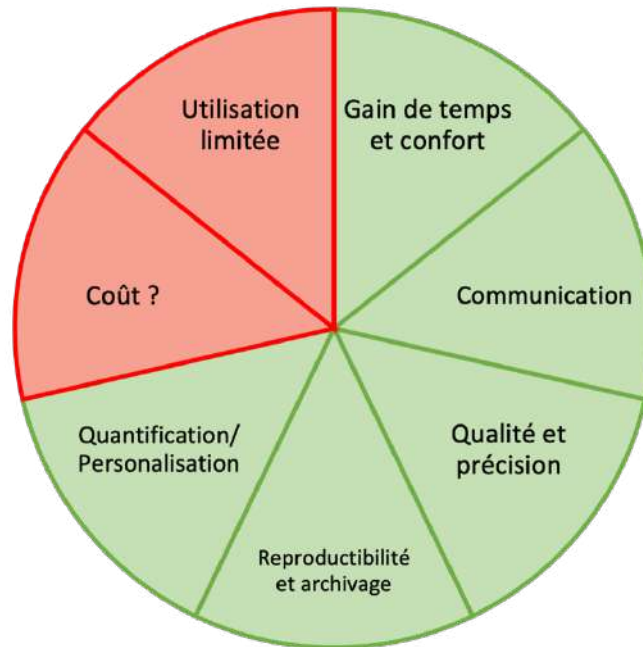


Figure 49 : Diagramme circulaire représentant les avantages et inconvénients principaux du système d'analyse occlusal numérique

1.7. Autres méthodes d'enregistrement de la dynamique mandibulaire

- **Système Planmeca 4D™ Jaw Motion**

C'est une technique utilisant la technologie CBCT afin d'effectuer un enregistrement puis la visualisation et l'analyse des mouvements de la mâchoire en 3D.

Cela implique tout de même de réaliser un cone-beam qui est un examen irradiant pour le patient et interroge sur le principe de la radioprotection.



Figure 50 : Planmeca 4D™ Jaw Motion

- **JMA de Zebris®**

Il s'agit d'un arc facial numérique permettant l'enregistrement de la position de maxillaire et des mouvements mandibulaires. Il est utile à la programmation d'un articulateur virtuel en transférant des données de mouvements réels du patient. En revanche, il ne semble pas y avoir de possibilité de superposition avec l'arcade « vraie » du patient.



Figure 51 : JMA de Zebris®

▪ Modjaw®

Le système Modjaw® est un dispositif d'enregistrement de la cinématique mandibulaire basé sur la technologie infra-rouge. La superposition de l'ensemble des données (empreintes numériques, scan facial, CBCT) est possible. Il permet de remplacer l'articulateur mécanique et l'arc facial afin de réaliser un projet prothétique conçu uniquement par CFAO.



Figure 52 : Modjaw®

2. Intégration du numérique dans la conception des dispositifs occlusaux

2.1. Conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) de gouttières occlusales

Cette démarche visait à élargir l'utilisation de cet outil numérique au-delà de la consultation occlusale. Nous avons exploré la faisabilité de produire des gouttières occlusales à partir des données obtenues par les empreintes et les enregistrements occlusaux, un acte courant de l'arsenal thérapeutique dans la gestion des troubles temporo-mandibulaires et bruxisme.

L'objectif est d'établir un guide de bonnes pratiques cliniques pour la réalisation de ces gouttières en évaluant et comparant différentes méthodes de fabrications et modèles de gouttières.

Nous avons donc réalisé **3 types de gouttières sur 2 participants** :

- 2 gouttières réalisées chez Modern :
 - 1 gouttière rigide
 - 1 gouttière rigide base souple
- 1 gouttière rigide conçue dans Splint et imprimée en 3D au Labo

Pour le premier participant, les gouttières ont été conçues depuis la position d'OIM.

Pour le deuxième participant, les gouttières ont été conçues depuis la position de Relation centrée.

2.1.1. Quelle position mandibulaire de référence ?

2.1.1.1. Depuis la position d'OIM

Dans le logiciel Splint, depuis la position d'OIM, il est possible de déterminer l'**ouverture d'occlusion** en agissant sur les curseurs indiqués par les flèches. (Fig. 53) Cela s'ouvre selon un arc de cercle, mais on n'en connaît ni le rayon, ni le centre de rotation. Ceci serait pourtant une information importante à connaître. Est-ce compatible avec un trajet moyen d'ouverture mandibulaire ?

L'axe de rotation est donc déterminé arbitrairement et la gouttière n'est pas conçue en fonction de la position articulaire d'équilibre du patient.

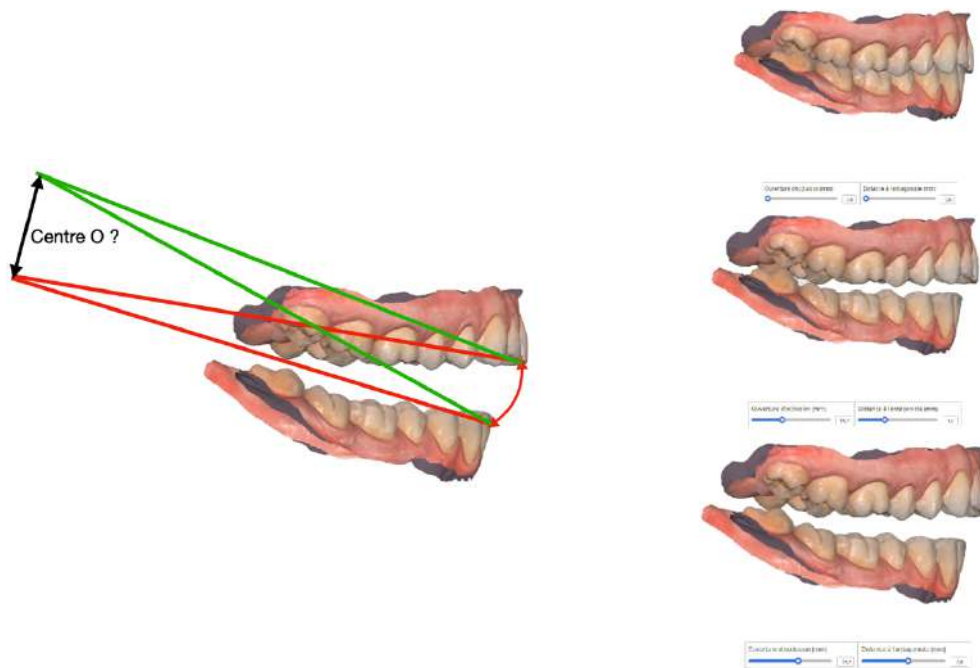


Figure 53 : Choix de la hauteur d'ouverture à partir de l'OIM

2.1.1.2. Depuis la position de Relation Centrée (RC)

La Relation Centrée (RC) est une position de référence reproductible, fondamentale dans les procédures dentaires diagnostiques et restauratrices, et étayée par des preuves scientifiques robustes. Diverses techniques intermaxillaires bien documentées permettent de reproduire cette position. Toutefois, il existe peu de preuves scientifiques quant à la localisation précise du condyle par rapport à la fosse articulaire. (47)

Il faut que le positionnement articulaire soit **physiologique** : (1)

- un faible décalage strictement antéro-sagittal qui crée peu de contraintes est acceptable. La position est antérieure mais symétrique à la musculature manducatrice ;
- un décalage transversal, cependant, est susceptible de créer plus de dommages. Les muscles travaillent de façon asymétrique, multipliant ainsi les risques de dysfonctionnement.

Le participant 2 a été manipulé en relation centrée selon la méthode « Chin-point guidance method » : (48)

- axe du bras de manipulation dans le plan sagittal du patient,
- le pouce et l'index de l'autre main sur les faces vestibulaires des canines maxillaires, permettant ainsi à la pulpe des doigts de dépasser et d'entrer en contact avec les dents mandibulaires pendant le mouvement d'élévation.

Une **butée antérieure** en résine PMMA a été réalisée en manipulation en relation centrée. Elle a été réglée dans la position requise et dont la dimension verticale permet de ménager un espace suffisant pour le matériau de l'orthèse. Cette position est maintenue le temps nécessaire au scannage vestibulaire de chaque côté pour l'enregistrement des rapports inter-maxillaires. (Fig. 54)



Figure 54 : Confection d'une butée antérieure en RC et enregistrement bilatéral de la position

La gouttière va donc être réalisée à partir d'une position physiologique et personnalisée au patient. Il s'agit d'une étape supplémentaire mais qui ne semble **pas négligeable**. En effet, nous avons observé de petites interférences en fermeture sur les gouttières conçues à partir de l'OIM. La répartition des contacts en statique ainsi que dans les mouvements d'excursion mandibulaire étaient meilleurs à partir des gouttières conçues à partir la RC. (Fig. 55 et 56)



Figure 56 : Gouttière conçue à partir d'un enregistrement en OIM



Figure 56 : Gouttière conçue à partir d'un enregistrement en RC

2.1.2. Quelle conception ?

2.1.2.1. Conception personnalisée dans le logiciel Splint® de MeditLink®

Le logiciel propose de réaliser une conception totalement automatisée ou étape par étape par l'opérateur. Il est très intuitif et simple d'utilisation.

Nous avons opté pour la conception étape par étape. Il a d'abord fallu déterminer l'axe d'insertion afin de gérer les contre-dépouilles et la rétention de la gouttière. Nous avons ensuite délimité les bords externes et effectué quelques ajustements d'ajouts/retraits de matière et polissage afin de positionner des contacts équilibrés sur toute l'arcade et de manière à concevoir un guide canin et antérieur. (Fig. 57) Nous notons en revanche qu'il n'est pas possible d'y intégrer les mouvements mandibulaires enregistrés que ça soit à partir de l'OIM ou à partir de la RC.

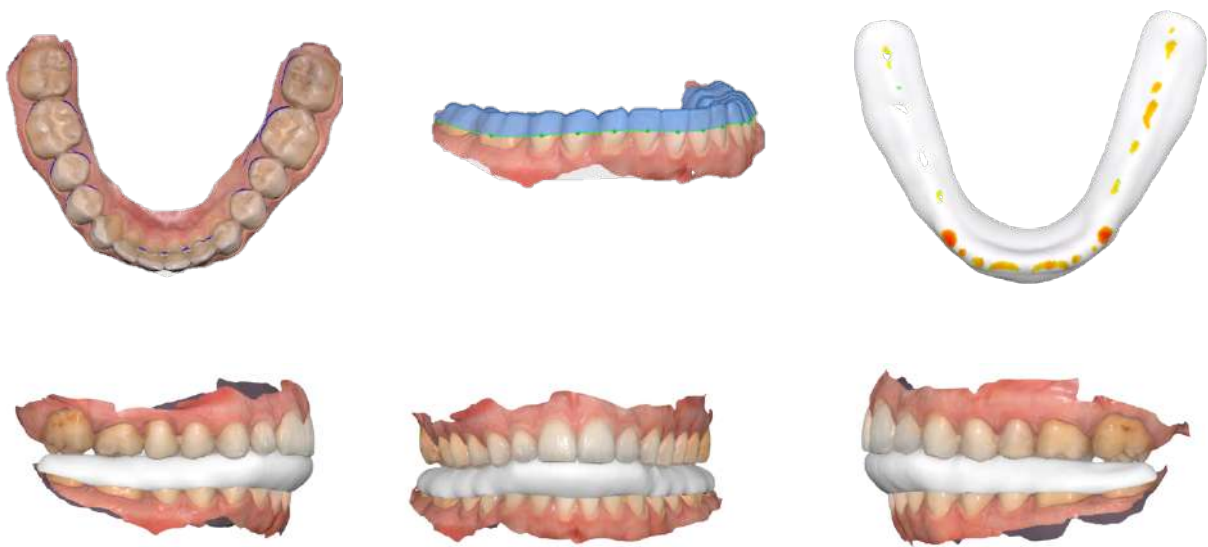


Figure 57 : Conception d'une gouttière occlusale à l'aide du logiciel Splint de MeditLink®

Le modèle de gouttière conçu peut être exporté vers une imprimante 3D pour fabrication.

2.1.2.2. Conception et fabrication par un prothésiste par des logiciels de CAO

La conception et fabrication des gouttières occlusales est déléguée à un laboratoire de prothèse équipé d'un logiciel de CAO et d'un moyen de fabrication (ici le laboratoire *Labocast*).

Cette approche implique une collaboration étroite entre le praticien et le laboratoire, où le praticien fournit des directives précises et une supervision tout au long du processus. Cette interaction permet de garantir que les spécifications cliniques requises sont pleinement prises en compte dans la conception et la fabrication des gouttières occlusales.

2.1.3. Quel modèle de gouttière ?

Nous avons pris en compte 4 critères pour l'évaluation des 3 types de gouttière, chacun notés sur 2 : **stabilité**, **confort**, **contacts occlusaux** et **coût**. Cela permet de fixer une note sur 8 (8 étant le meilleur).

2.1.3.1. Rigide impression 3D issue de la conception dans Splint®



Stabilité : 1
Confort : 1
Contacts : 1
Coût : 2
Note = 5/8

Figure 58 : Gouttière rigide impression 3D issue de la conception dans Splint®

2.1.3.2. Rigide base dure



Stabilité : 2
Confort : 1
Contacts : 2
Coût : 1
Note = 6/8

Figure 59 : Gouttière rigide base dure

2.1.3.3. Rigide base souple



Stabilité : 2
Confort : 2
Contacts : 2
Coût : 2
Note = 8/8

Figure 60 : Gouttière rigide base souple

Les contacts dans les mouvements d'excursion mandibulaire ont aussi été pris en considération et contrôlés. Pour toutes les gouttières, le guide antérieur et canin était assuré, associé à une désocclusion des dents postérieures. (Fig. 54)



Figure 61 Contrôle des contacts dans les mouvements d'excursion mandibulaire

En résumé :

Les recommandations que nous pouvons soumettre en fonction de nos observations sont :

- De réaliser un enregistrement de la position mandibulaire en **RC** à l'aide d'une butée antérieure ;
- De **déléguer**, en l'état d'évolution actuel du logiciel Splint®, la conception et fabrication du dispositif occlusal à un laboratoire compétant en assurant sa supervision ;
- De commander une **gouttière rigide base souple**.

2.2. Suivi occlusal numérique

Un avantage supplémentaire de la fabrication numérique des gouttières occlusales est la possibilité de conserver leur design numérique. En cas de casse ou d'usure excessive, il est alors simple de les **réimprimer** sans avoir besoin de recommencer tout le processus de conception. Cela permet non seulement d'économiser du temps et des ressources, mais aussi d'assurer une continuité dans le traitement du patient.

De plus, la conservation du dossier occlusal numérique du patient permet sa **surveillance**, surtout dans les cas de bruxeurs.

Le logiciel superpose des empreintes prises à des dates différentes et met en évidence, grâce à des couleurs, les modifications qui sont intervenues dans l'intervalle de temps. Dans sa prise en charge comportementale (composante importante de la thérapeutique du bruxisme), elle offrira en effet la possibilité de renforcer son observance. (1)

3. Intégration des scans faciaux pour le positionnement des arcades numériques dans un articulateur virtuel

Le positionnement des arcades numérisées dans un articulateur virtuel se fait actuellement majoritairement de manière arbitraire et sans repères anatomiques.

La question est de savoir si les scanners faciaux, dont les fichiers sont associables avec les empreintes numériques peuvent résoudre ce type de problème.

C'est ce à quoi nous allons tenter de répondre.

3.1. Intégration du scan facial

Tout d'abord, nous allons développer comment acquérir les données et les corréler entre elles pour incorporer le scan des arcades dentaires dans un scan facial.

3.1.1. Collecte et recueil des données

- **Scan des 2 arcades et de l'occlusion :**

Il a déjà été réalisé préalablement et a été conservé dans le logiciel MeditScan®.

- **Scan du nez et incisives avec la caméra intra-orale (Fig. 62) :**

Pour cela, la première étape est donc d'obtenir des données corrélées entre les incisives et le nez.

Une nouvelle fenêtre de scan est ouverte dans MeditScan®.

Il faut donc partir d'une position connue : ici, les faces palatines des incisives maxillaires puis basculer de manière à récupérer les faces vestibulaires puis dépasser la lèvre et remonter le long du nez. Le nez doit être enregistré de manière précise et complète (arrête et ailes latérales). Ces éléments sont importants car ils seront enregistrés lors de la réalisation du scan facial par la suite.

- **Scan facial** (Fig. 63) :

Il est réalisé avec un scanner facial Revopoint®3.

Des pastilles ont été placées sur le visage afin de pouvoir reconstituer une échelle entre les différents fichiers ensuite.

Le patient est placé en face du scanner et il lui est demandé de tourner la tête lentement d'un côté puis de l'autre ainsi qu'un aller-retour de haut en bas. Il doit rester à une distance constante du scanner. Les zones en vert indiquent directement les zones d'enregistrement de bonne qualité. Le temps de scannage est rapide (environ une vingtaine de secondes). Les fichiers peuvent être exportés en formats STL, PLY ou OBJ. Nous avons utilisé le fichier PLY dans notre cas.



Figure 62 : Enregistrement numérique du nez et incisives avec la caméra Medit®

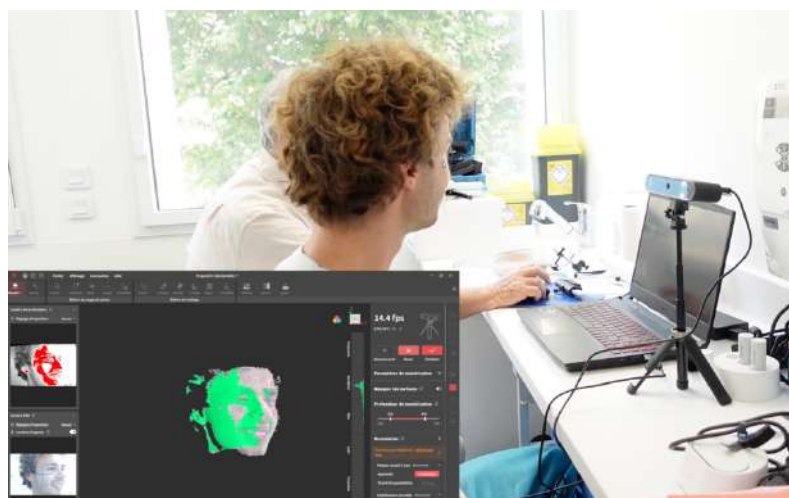


Figure 63 : Enregistrement du scan facial avec le Revopoint 3®

3.1.2. Corrélation des données

Afin d'exploiter ces données, il faut avant tout les corrélées entre elles.

- **Corrélation des fichiers « arcade maxillaire » et « incisives maxillaires/nez » (Fig. 64) :**

Nous plaçons 3 points bien identifiables sur les 2 images : 1 au niveau des angles mésiaux des incisives centrales et 2 au niveau des papilles incisives latérales/canines de part et d'autre.

Ils sont d'abord positionnés sur l'arcade maxillaire puis sur le fichier « incisives maxillaires/nez » dans le même ordre chronologique. La corrélation est établie et la superposition des données est réalisée automatiquement.

- **Corrélation des fichiers « scan facial » et « incisives maxillaires/nez » (Fig. 65) :**

Le fichier au format PLY est importé dans le logiciel MeditScan®. La corrélation est effectuée de la même manière avec un positionnement de 3 points bien identifiables sur les 2 fichiers : 1 au niveau des angles mésiaux des incisives centrales, 1 au niveau de l'aile droite du nez et 1 au niveau de la pointe du nez.

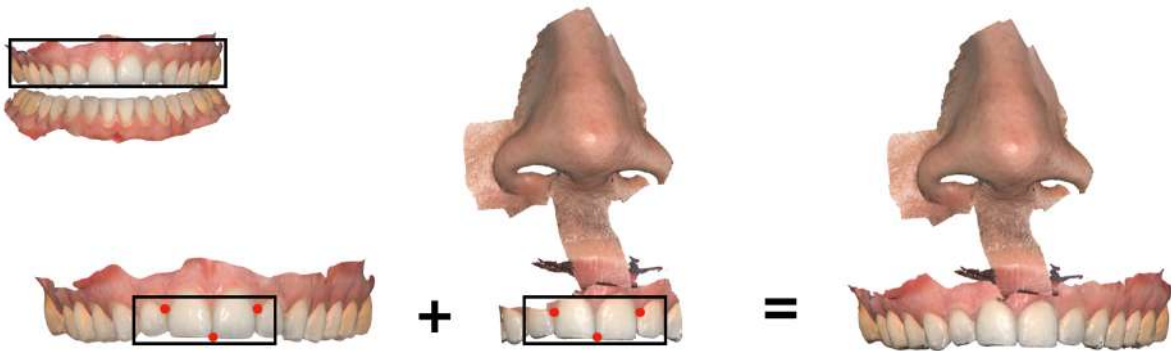


Figure 64 : Corrélation des fichiers « scan facial » et « incisives maxillaires/nez »

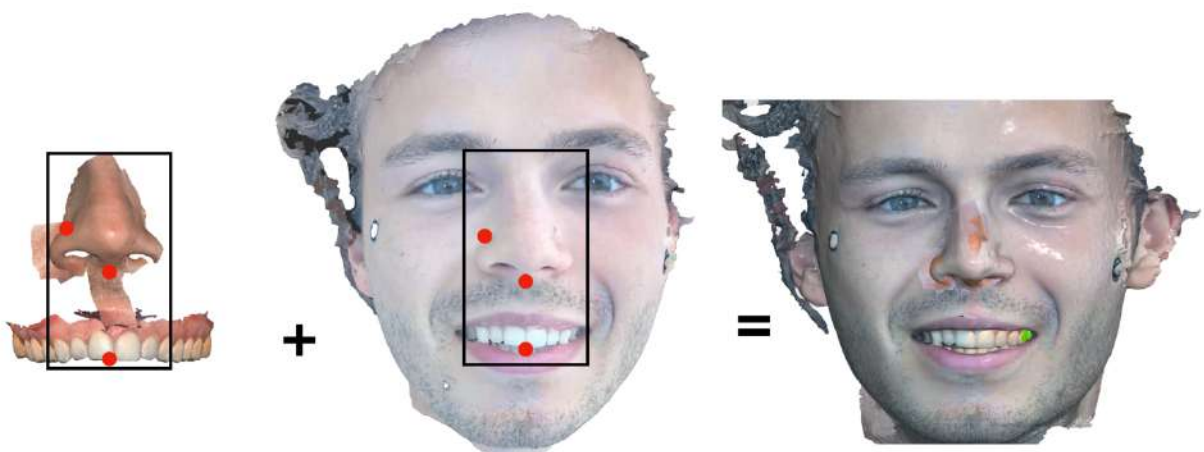


Figure 65 : Corrélation des fichiers « scan facial » et « incisives maxillaires/nez »

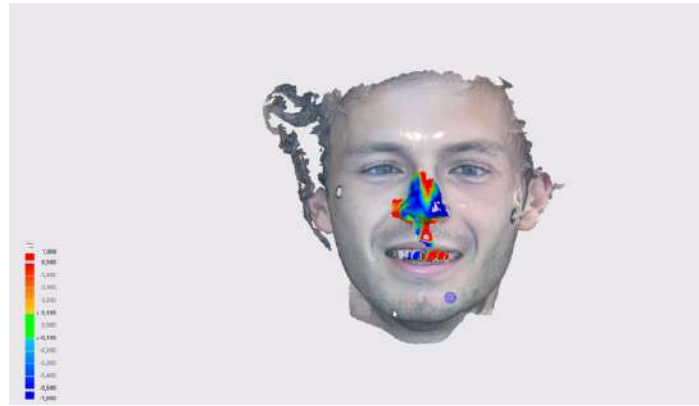


Figure 66 : Plage et quantification de superposition par le logiciel MeditScan®

Il est possible de résumer la création d'un avatar numérique par la corrélation de ces 3 fichiers de la manière suivante (Fig. 67) :

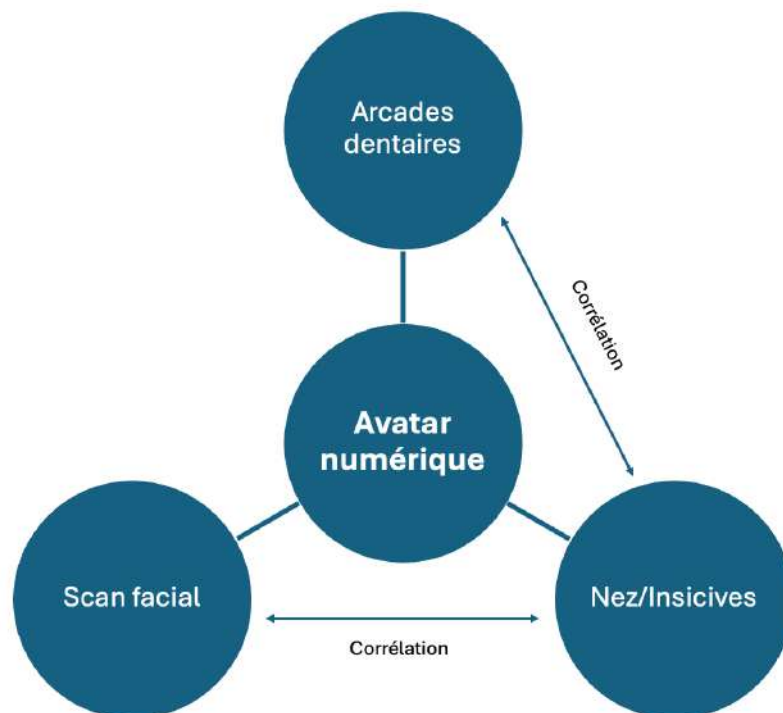


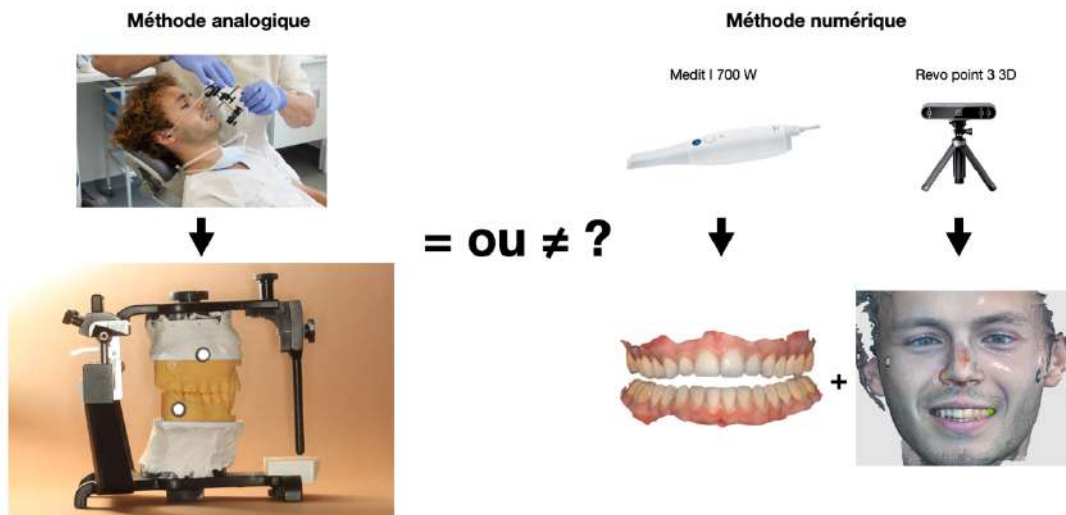
Figure 67 : Schéma de corrélation des fichiers nécessaire à la création d'un avatar numérique

3.2. Protocole de validation du montage en articulateur virtuel

Le but est maintenant de valider cet avatar numérique en se demandant si :
le scan facial peut-il jouer le même rôle qu'un arc facial analogique dans le positionnement des arcades numériques dans un articulateur virtuel ?

3.2.1. Moyens et méthodes

Deux approches ont été employées simultanément dans notre protocole. D'une part, la méthode analogique impliquant la réalisation de modèles imprimés, issus des empreintes numériques sur un articulateur à l'aide d'un arc facial, et d'autre part, la méthode numérique qui a donné lieu à la création d'un avatar numérique. Par la suite, une comparaison a été effectuée en superposant les images résultant des deux méthodes afin d'évaluer leur concordance.



3.2.1.1. Méthode analogique

Le montage en articulateur des modèles est réalisé en utilisant un arc de transfert Denar à embouts auriculaires. Le modèle mandibulaire est monté à partir d'enregistrements de RC.

3.2.1.2. Méthode numérique

Création de l'avatar numérique selon les méthodes décrites dans la partie 3.1.

3.2.1.3. Exploitation des données

L'exploitation des données s'est articulée principalement autour de mesures effectuées au moyen d'un logiciel de **superposition d'images** (Graphic® sur Macintosh). Cependant, l'un des défis rencontrés (identique à notre protocole précédent), résidait dans la disparité des résolutions et des dimensions des fichiers photographiques et des captures d'écran.

Mise à l'échelle :

- Dans le plan sagittal :

Des gommettes de diamètre connu (6 mm) ont été apposées lors de la numérisation faciale et sur l'articulateur. En créant un repère de 6 mm dans le logiciel de comparaison et en mettant tous les fichiers à l'échelle par rapport à cette référence, nous avons pu établir une échelle uniforme, garantissant une analyse rigoureuse et cohérente des données.

- Dans le plan frontal :

Là où la gomme n'était pas utilisable, dans le plan frontal, une mesure a été prise dans le logiciel MeditScan® au niveau de l'incisive centrale et le même protocole de mise à l'échelle a été appliqué dans Graphic®.

- Dans le plan transversal :

Deux mesures ont été prises au niveau de la largeur d'arcade maxillaire.

3.2.2. Résultats

De la même manière, les résultats sont présentés dans les 3 plans de l'espace

Plan	Superpositions	Résultats
Sagittal		<p>La localisation du point d'émergence s'est faite de manière arbitraire : 11mm en avant du tragus, sur la ligne reliant celui-ci à l'angle palpébral externe. Puis 5mm en dessous de ce point. (49)</p> <p>Le rayon d'ouverture mandibulaire (axe charnière- bord libre de l'incisive mandibulaire) est mesuré à :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Numérique = 10,104 cm ; - Analogique = 9,58 cm.
Frontal		<p>La localisation des condyles anatomiques est compliquée sur cette coupe.</p> <p>Les distances mesurées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Numérique : boîtier condylien – milieu inter-incisif = 11,206 cm ; - Analogique : condyles anatomiques – milieu inter-incisif = 11,465 cm.
Transversal		<p>La distance inter-condylienne de l'articulateur est standardisée.</p> <p>Les distances mesurées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Numérique = 9,879 cm (standardisé) - Analogique = 12,966 cm

3.2.3. Discussion

➤ Localisation arbitraire de l'axe charnière de rotation :

En l'absence de localisation cinétique de l'axe charnière, et pour des raisons d'ergonomie, les arcs faciaux modernes utilisent les CAE (Conduit Auditif Externe) pour placer les repères postérieurs de l'arc facial. Il en résulte une divergence entre cette référence et l'axe réel de rotation. Cette situation est cliniquement acceptable.

De nombreuses études statistiques ont situé l'émergence cutanée de l'axe charnière sur une ligne rejoignant la commissure palpébrale au bord antéro-supérieur du tragus à 11 mm en avant de ce point et 5 mm en dessous, perpendiculairement à cette ligne. (50)

La superposition des 2 images dans le plan sagittal révèle une différence d'environ 0,5 cm de rayon entre les données du patient et les modèles en articulateur. Ceci peut être donc dû à la localisation standardisée des boîtiers condyliens de l'articulateur et au positionnement arbitraire de l'axe charnière sur le scan facial du patient.

La différence de rayon dans ce plan peut entraîner une petite erreur occlusale dans le sens postéro-antérieur. Lors du montage du moulage mandibulaire en articulateur, les cires d'enregistrement de la RC provoquent une surélévation occlusale : plus la cire est épaisse, plus l'erreur de localisation est amplifiée. Cependant, la réalisation d'un enregistrement occlusal de faible épaisseur en RC aboutit à une erreur clinique **négligeable**. Ceci est facilement obtenu en empreinte numérique avec l'utilisation d'une butée antérieure lors de l'enregistrement de l'occlusion en RC.

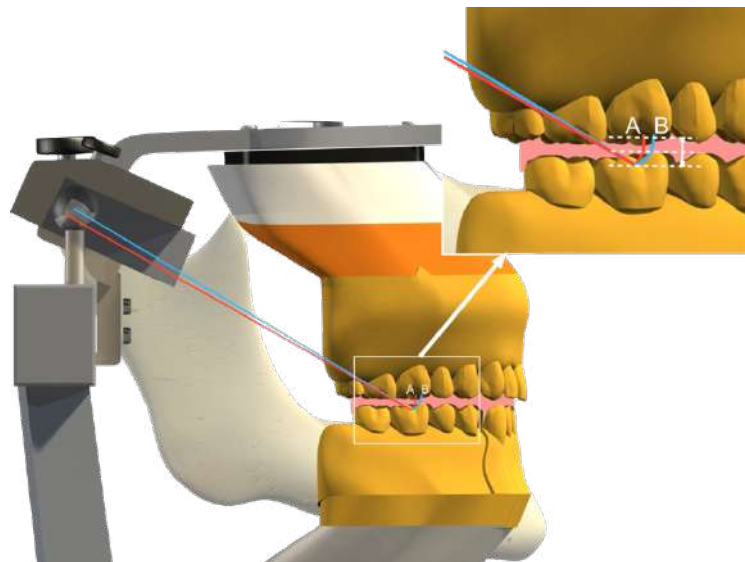


Figure 68 : Influence de la localisation arbitraire de l'axe charnière sur l'erreur occlusale

De la même manière, dans le plan frontal, la distance inter-condylienne est estimable sur le scan facial du patient. En revanche, elle est fixe sur l'articulateur, et ne peut tirer profit des informations du scan facial.

➤ Atouts supplémentaires du scan facial par rapport à l'articulateur :

- Le **plan de Camper** est parfaitement visualisable sur le scan facial ;
- Les **repères esthétiques** sont facilement matérialisables et constituent des informations supplémentaires pour le prothésiste afin de répondre aux enjeux esthétiques prothétiques ;
- Les **caractéristiques anatomiques** du déplacement mandibulaire influent sur l'anatomie occlusale : hauteur cuspidienne, orientation des sillons. Les données obtenues avec le scan facial, si elles peuvent être combinées avec les enregistrements dynamiques des mouvements mandibulaires, devraient permettre la conception de faces occlusales en accord avec les paramètres du patient. Une fois de plus, l'importance de l'anatomie occlusale dans la physiologie articulaire est mise en lumière. Cela souligne l'intérêt de cette étude et de son objectif sous-jacent : concevoir des traitements qui se rapprochent au maximum de la physiologie individuelle de nos patients.

➤ Limites dans l'utilisation du scan facial :

- L'indication prothétique reste limitée à des **éléments entièrement usinés**. Pour des prothèses stratifiées, le montage des modèles en articulateur analogique reste la règle.
- Le scan facial présente un certain intérêt dans le **projet esthétique**, mais dans ce domaine, un matériel dédié (Rayface® : très onéreux) ou quelques photos et petites vidéos réalisées avec un smartphone sont plus rapidement obtenues et transmises.

➤ Autre étude :

Une étude in vivo menée par *Marta Revilla-Léon* en 2023 (30) a évalué l'exactitude de l'enregistrement de la position de RC par 3 caméras intra-orales (Trios4 (Trios4 group), Itero Element 5D Plus (Itero group), i700 (i700 group)) associées ou non à une utilisation du Modjow®.

Ils ont utilisé un protocole de superposition des fichiers par comparaison à un modèle contrôle monté sur articulateur par méthode conventionnelle.

Les résultats ont montré que l'utilisation du système de suivi optique de la mâchoire (Modjow®) a amélioré la valeur de fidélité de la relation maxillo-mandibulaire enregistrée en RC par rapport à la caméra-intra-orale seule, à l'exception du système Medit i700W®.

Cette étude valide donc l'enregistrement d'une position mandibulaire par la caméra utilisée dans notre étude (Medit i700W®) et le positionnement des arcades numériques.

3.2.4. Conclusion du protocole

La réalisation d'un scan facial est une manipulation simple et rapide.

Dans ce cas, l'utilisation d'un matériel grand public, peu onéreux (600 €) et non invasif donne des résultats tout à fait convenables dans son cadre d'indications. Les diverses étapes de corrélation sont également simples à exécuter dans le logiciel Medit Scan®.

Ce protocole permet de suggérer que :

Le scan facial permet de positionner les arcades numérisées d'une manière *similaire* à ce qui est réalisé lors d'un montage en articulateur et *plus précisément* que le placement arbitraire sur une table de montage.

En revanche, des études à échantillons plus large et au protocole rigoureux sont nécessaires afin de valider sa fiabilité et reproductibilité d'exécution.

CONCLUSION

Notre travail s'intéresse à l'apport des outils numériques dans la consultation occlusale.

Nous avons réalisé une étude universitaire dont le but principal est de savoir si nous pouvons considérer l'occlusion numérique comme un outil fiable, reproductible et simple d'exécution, capable de répondre aux exigences de notre pratique.

Un protocole de validation a été proposé et validé par le CERNI, sous le nom de « COMACCO » (comparaison des contacts occlusaux obtenus par des marqueurs conventionnels et de la carte occlusale obtenue par empreinte optique) et a été exécuté au sein de l'UFR d'odontologie de Nice sur 15 participants volontaires de TCEO1 (étudiants de 6^{ème} année en chirurgie dentaire).

Il a été question de comparer ces deux groupes afin de valider ou d'invalider l'enregistrement numérique de l'occlusion statique et dynamique selon 3 critères : nombre, localisation et précision des contacts.

Cette évaluation comparative s'est effectuée entre les photographies intra-orales des marquages conventionnels au papier d'occlusion de 100 microns et les cartes occlusales des arcades numérisées issues de la caméra intra-orale Medit® i700W.

L'analyse statistique du critère « nombre de points » a été soumise au T-test de Student pour séries appariées ($\alpha = 0,05$). Les valeurs de p ont toutes été supérieures à la valeur seuil ($p_{global} = 0,50$; $p_{incisives} = 0,23$; $p_{canines} = 0,17$; $p_{prémolaires} = 0,54$; $p_{molaires} = 0,68$). Elle n'a pas conclu à l'existence d'une différence significative entre les moyennes des deux groupes. Cependant, une disparité plus notable a été observée au niveau des dents antérieures, avec une augmentation du nombre de points dans la technique conventionnelle. Cette disparité pourrait être attribuée à des divergences méthodologiques entre les deux approches.

L'analyse de la concordance des points d'occlusion en termes de localisation a révélé une cohérence notable entre les deux méthodes.

L'occlusion numérique s'est ensuite distinguée par sa précision accrue dans l'analyse des points de contact, grâce à des outils et une représentation visuelle plus intuitifs.

L'enregistrement dynamique des mouvements mandibulaires par caméra numérique garantit une reproduction fidèle de ces mouvements. Cependant, une sous-évaluation de l'intensité des contacts semble se produire du côté opposé à l'enregistrement du mouvement.

Les résultats de ce protocole universitaire tendent à montrer la validité et la fiabilité des caméras intra-orales dans l'enregistrement et la transmission des données occlusales et sa comptabilité avec un usage en pratique clinique. De surcroît, il semble même offrir une précision, une justesse et une facilité de lecture supérieures à l'enregistrement conventionnel.

De plus, l'enregistrement dynamique de l'occlusion représente une avancée significative de ces systèmes. Rarement et difficilement réalisable par des techniques conventionnelles, l'étude et la transmission des données occlusales dynamiques du patient permet de diagnostiquer plus précisément, de guider la conception prothétique vers des thérapeutiques plus physiologiques, et d'améliorer la communication avec les patients pour une meilleure adhésion aux traitements.

La consultation occlusale, si elle est complète, est chronophage et parfois complexe à réaliser. Sa réalisation en est simplifiée et raccourcie avec ce système. Par ailleurs, nous avons envisagé la possibilité d'imprimer un rapport de consultation pour les patients, rendant ainsi tangible la valeur de cette

démarche. Cette transition vers le numérique permet de rendre la consultation plus efficace et accessible tant pour les patients que pour les praticiens.

Nous avons étendu notre travail à la conception de gouttières occlusales par ce cheminement numérique. La qualité de ces dispositifs a été validée et, il est ressorti que : les gouttières « rigides base souple » conçues à partir d'un enregistrement en relation centrée (RC) sont les plus recommandées.

L'intégration des scans faciaux à ces enregistrements numériques des arcades représente une tendance émergente. À travers un protocole, nous avons amorcé un travail de validation qui suggère que le positionnement des arcades numérisées sur un articulateur virtuel à l'aide d'un scan facial serait fiable et offrirait ainsi une précision supérieure à celle du placement arbitraire sur une table de montage. Il s'agit d'une piste de réflexion qui reste à démontrer à travers un protocole d'étude complet et rigoureux.

Des travaux sont encore à réaliser afin de valider ces données pour tous les systèmes numériques disponibles sur le marché. Elles doivent s'effectuer à un intervalle de temps réduit car l'évolution de ces technologies est très rapide et se font souvent dépasser par de nouveaux systèmes plus récents et performants.

Ainsi, l'empreinte et l'enregistrement numérique de l'occlusion doivent être considérés comme de véritables outils diagnostiques et thérapeutiques supplémentaires à intégrer à notre arsenal thérapeutique.

Table des illustrations

Figure 1 : Cuspides primaires et secondaires.....	10
Figure 2 : Contacts antérieurs en OIM.....	10
Figure 3 : Localisation des contacts occlusaux.....	12
Figure 4 : Position d'OIM	12
Figure 5 : Comparaison des positions d'OIM et de RC.....	12
Figure 6 : Pente incisive et pente condylienne.....	14
Figure 7 : Diduction droite en fonction canine.....	15
Figure 8 : Angle de Bennett en vue supérieure lors d'une diduction droite	15
Figure 9 : Diduction droite, fonction de groupe, usure dentaire prématurée.....	16
Figure 10 : Papier Shimstock® (ID).....	18
Figure 11 : Mise en évidence des contacts par le papier d'occlusion.....	19
Figure 12 : T-Scan de Novus®.....	19
Figure 13 : OccluSense de Bausch®.....	19
Figure 14 : Salle de simulation de l'UFR Odontologie de Nice.....	23
Figure 15 : Caméra intra-orale Medit® i700W	23
Figure 16 : Enregistrement numérique des arcades	25
Figure 17 : Enregistrement bilatéral de l'occlusion numérique	25
Figure 18 : Enregistrement numérique de l'occlusion dynamique.....	26
Figure 20 : Marquage au papier d'occlusion d'une diduction gauche	26
Figure 20 : Marquage au papier d'occlusion des contacts en OIM.....	26
Figure 21 : Délimitation de la zone de mesure dans MeditScan®.....	27
Figure 22 : Mesure de la distance mésio-distale de la 46 dans MeditScan®.....	28
Figure 23 : Calibration de la photographie intra-orale et de l'empreinte numérique.....	28
Figure 24 : Ajustement de la "ColorMap" du logiciel Medit Occlusion Analyser	29
Figure 25 : Mesure du plus petit point d'occlusion comptabilisable et son calibrage.....	29
Figure 26 : Tableau de comptabilisation des points d'occlusion par méthode conventionnelle et numérique	34
Figure 27 : Tableau récapitulatif du nombre de points enregistrés par zones dentaires par technique conventionnelle et numérique.....	35
Figure 28 : Diagramme comparatif du nombre de points enregistrés par marqueurs conventionnels ou numérique et par secteur dentaire	35
Figure 29 : Tableau récapitulatif du nombre total de points enregistrés par technique conventionnelle et numérique	36
Figure 30 : Diagramme comparatif du nombre total de point comptabilisés par technique conventionnelle et numérique	36
Figure 31 : Tableau statistique (T-test de Student pour séries appariées)	37

Figure 32 : Superposition de l'arcade numérique sur la photographie intra-orale sans opacité et à 50% d'opacité	38
Figure 33 : Comparaison visuelle des contacts occlusaux enregistrés sur une 46 par papier d'occlusion de 100 microns d'épaisseur et par méthode numérique.....	39
Figure 34 : Comparaison de la visualisation de l'intensité des contacts inter-occlusaux par papier marqueur et numérique	39
Figure 35 : Comparaison de la facilité de lecture des contacts inter-occlusaux par papier et marqueur et méthode numérique	40
Figure 36 : Visualisation d'une diduction gauche et de sa représentation numérique	40
Figure 37 : Tableau comparant la représentation numérique d'une diduction gauche par un enregistrement du côté gauche et du côté droit.....	42
Figure 38 : Images illustrant la conséquence d'une approximation de l'épaisseur de marquage virtuelle et conventionnelle sur la comptabilisation des points d'occlusion	44
Figure 39 : Image illustrant les faux contacts générés par le papier marqueur et comptabilisés comme point dans l'étude.....	44
Figure 40 : Modèles et billes en zircone utilisés dans l'étude de Cheolho Cha, schématisation des distances comparées.....	45
Figure 42 : Diagramme montrant l'influence de la force occlusale sur la surface de contact occlusale. Plus le serrement est fort, plus la surface de contact est forte (M. Okamoto, et al.).....	46
Figure 42 : Diagramme montrant une différence significative dans le déplacement dentaire entre un serrement fort et faible. Il y a moins de déplacement dans les 3 plans de l'espace avec un serrement fort (M. Okamoto, et al.).....	46
Figure 43 : Tableau de comparaison de la justesse des empreintes numériques VS conventionnelles	47
Figure 44 : Détection automatique des zones de surcontact par le logiciel Medit Occlusion Analyser®.....	49
Figure 45 : Vue en coupe et prise de mesures possibles	50
Figure 46 : Mise en évidence d'une interférence occlusale postérieure travaillante lors d'une diduction droite dans le logiciel Medit Occlusion Analyser®.....	50
Figure 47 : Intérêt du « blocage » de l'occlusion des empreintes sectorielles numériques comparé aux empreintes sectorielles conventionnelles.....	54
Figure 48 : Cas d'in-occlusion sévère enregistrés à l'aide des caméras intra-orales 3-Shape et Medit (Cas du Dr DUMINIL G.).....	55
Figure 49 : Diagramme circulaire représentant les avantages et inconvénients principaux du système d'analyse occlusal numérique.....	56
Figure 50 : Planmeca 4D™ Jaw Motion	56
Figure 51 : JMA de Zebris®.....	56
Figure 52 : Modjaw®	57
Figure 53 : Choix de la hauteur d'ouverture à partir de l'OIM.....	58
Figure 54 : Confection d'une butée antérieure en RC et enregistrement bilatéral de la position	59

Figure 56 : Gouttière conçue à partir d'un enregistrement en OIM.....	59
Figure 56 : Gouttière conçue à partir d'un enregistrement en RC	59
Figure 57 : Conception d'une gouttière occlusale à l'aide du logiciel Splint de MeditLink®	60
Figure 58 : Gouttière rigide impression 3D issue de la conception dans Splint®	61
Figure 59 : Gouttière rigide base dure.....	61
Figure 60 : Gouttière rigide base souple	61
Figure 61 Contrôle des contacts dans les mouvements d'excursion mandibulaire.....	61
Figure 62 : Enregistrement numérique du nez et incisives avec la caméra Medit®	63
Figure 63 : Enregistrement du scan facial avec le Revopoint 3®.....	63
Figure 64 : Corrélation des fichiers « scan facial » et « incisives maxillaires/nez »	64
Figure 65 : Corrélation des fichiers « scan facial » et « incisives maxillaires/nez »	64
Figure 66 : Plage et quantification de superposition par le logiciel MeditScan®	65
Figure 67 : Schéma de corrélation des fichiers nécessaire à la création d'un avatar numérique	65
Figure 68 : Influence de la localisation arbitraire de l'axe charnière sur l'erreur occlusale	68

Liste des abréviations

ATM = Articulation Temporo-Mandibulaire

CBCT = Cone Beam Computed Tomography

CERNI = Comité d'Éthique sur les Recherches Non Interventionnelles

CFAO = Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur

COMACCO = Comparaison des contacts occlusaux obtenus par des marqueurs conventionnels et de la carte occlusale obtenue par empreinte optique

CONV = Conventionnelle

DAM = Dysfonctions de l'Appareil Manducateur

DTM = Dysfonctionnements Temporo-Mandibulaires

DVO = Dimension Verticale d'Occlusion

IA = Intelligence Artificielle

OIM = Occlusion d'Intercuspidie Maximale

ORC = Occlusion de Relation Centrée

POM = Position d'Ouverture Maximale

PPM = Position de Propulsion Maximale

RC = Relation Centrée

SIO = Scanner Intra-Oral

ANNEXE A

ANNEXE A1 : FORMULAIRE D'ENREGISTREMENT de l'OCCLUSION
Schéma dentaire maxillaire et mandibulaire



ANNEXE A2 : QUESTIONS SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES

	Réponses
Sexe ?	
Age ?	
Région de résidence principale ?	
Profession/Niveau de formation acquise ?	
Quelles sont vos habitudes alimentaires ?	
- Alcool ?	
- Tabac ?	
- Aliments acides ?	
Quelles sont vos habitudes d'hygiène ?	
- Brossage manuel ou électrique ?	
- Fréquence du brossage ?	
Avez-vous subi un traitement orthodontique ?	
Avez-vous subi un traitement occlusal par meulage ou gouttière ?	
Avez-vous subi un traumatisme ayant affecté la sphère maxillo-dentaire ?	
Au niveau des ATM (Articulations Temporo-Mandibulaires), présentez-vous :	
- Des douleurs ?	
- Des bruits (claquements/craquements) ?	
- Une gêne, une limitation ou une déviation de l'ouverture buccale ?	
Parmi la liste suivante, présentez-vous des parafonctions ?	
- Grincements/Serrements des dents (Bruxisme) ?	
- Habitudes nocives (onychophagie = rongement des ongles, mâchonnement régulier de chewing-gum/stylo/joues) ?	
- Dysfonction linguale ?	

ANNEXE A3 : QUESTIONNAIRE DE SATISFACTION

	Réponses
L'expérimentation vous a-t-elle plu ? <i>Sur une échelle de 0 à 10 :</i> <i>1 = pas du tout</i> <i>10 = totalement</i>	
Est-ce que participer à cette expérience vous a permis de comprendre des choses sur le sujet de l'occlusion ?	
Qu'est-ce qui vous a plu dans l'expérimentation ?	
Qu'est-ce qui vous a déplu dans l'expérimentation ?	
Quels sont les points à améliorer dans l'expérimentation ?	

ANNEXE B : FORMULAIRE DE RECUEIL DU CONSENTEMENT

Formulaire de recueil de consentement de participation à une recherche

COMACCO (COMPARAISON DES CONTACTS OCCLUSAUX OBTENUS PAR DES MARQUEURS CONVENTIONNELS ET DE LA CARTE OCCLUSALE OBTENUE PAR EMPREINTE OPTIQUE) SUR LES ETUDIANTS DE 6EME ANNEE EN ODONTOLOGIE A NICE

Je soussigné(e) M., Mme, (*rayez la mention inutile*)

(nom, prénom)

Né(e) le

à (ville et code postal)

Demeurant

Déclare que le Docteur Éric LEFORESTIER (tel : X) ou Monsieur Romain LEQUIEN (tel : X) m'a proposé de participer à l'étude sus nommée :

- qu'il m'a expliqué en détails le protocole,

- qu'il m'a notamment fait connaître :

- l'objectif, la méthode et la durée de l'étude
- les contraintes et les risques potentiels encourus
- mon droit de refuser de participer et en cas de désaccord de retirer mon consentement à tout moment sans aucune conséquence négative sur mon parcours étudiant
- que, si je le souhaite, à son terme, je serai informé(e) par le chirurgien-dentiste investigateur de ses résultats globaux
- que la DPO d'UCA a délivré une autorisation en date du 08/09/2023

L'objectif de cette étude étant de réaliser une comparaison entre la carte occlusale obtenue sur le logiciel Occlusion Analyser à partir d'une empreinte numérique Medit, et les contacts occlusaux obtenus par des marqueurs conventionnels.

Dans un rendez-vous d'une demi-heure qui vous aura été donné 1 mois à l'avance vous :

- Remplirez un questionnaire socio-démographique anonymisé ;
- Allez avoir une explication orale sur le déroulé du protocole et les objectifs de l'étude ;
- Allez procéder à un enregistrement numérique de vos arcades dentaires par empreinte optique réalisé par l'investigateur principal (Mr LEQUIEN Romain) ;
- Allez procéder à un enregistrement de l'occlusion par marqueurs conventionnels (papier d'occlusion coloré) et une prise de photos ;
- Allez pouvoir poser des questions sur l'intérêt de ce travail et son déroulement, ainsi que remplir un questionnaire de satisfaction.

Noms des chercheurs correspondants :

- Éric LEFORESTIER, Maître de Conférences des Universités -Praticien Hospitalo-Universitaire, Université Côte d'Azur
- Romain LEQUIEN, étudiant en chirurgie dentaire, Université Côte d'Azur
- Gérard DUMINIL, Praticien Libéral, attaché universitaire

Promoteur : **Université Cote d'Azur et CHU de Nice**

Les informations relatives à l'étude recueillies par l'investigateur sont traitées confidentiellement. Le retrait de l'étude n'aura aucune conséquence, ni sur le plan universitaire, ni sur tout autre plan.

J'accepte que les données obtenues fassent objet d'un enregistrement. J'accepte que les données enregistrées au cours de l'étude puissent faire l'objet d'un traitement informatisé dans le respect de la loi « informatique et liberté » (loi du 6 janvier 1978). J'ai bien noté que je dispose d'un droit d'accès et de rectification des données me concernant à tout moment de l'étude auprès du Dr Éric Leforestier.

Je peux également contacter : Romain Lequien pour tout renseignement concernant ma participation à l'étude et en cas de questionnement sur l'étude.

Après avoir discuté librement et obtenu réponse à toutes mes questions, j'accepte librement et volontairement de participer à cette recherche dans les conditions précisées dans le formulaire d'information et de consentement.

Nom et prénom de l'étudiant :

Date : / /

Signature précédée de la mention « lu et approuvé »



**Comité d'Éthique de la Recherche
(CER)**

AVIS n° 2023-042

Le Comité d'Éthique de la Recherche d'Université Côte d'Azur, après en avoir délibéré, émet un **avis favorable** pour le Projet intitulé :

Titre : « COMACCO (COMPARAISON DES CONTACTS OCCLUSAUX OBTENUS PAR DES MARQUEURS CONVENTIONNELS ET DE LA CARTE OCCLUSALE OBTENUE PAR EMPREINTE OPTIQUE) ».

Sous la responsabilité du Docteur Eric LEFORESTIER (directeur de thèse), Maître de Conférences des Universités - Praticien hospitalier, sous-section 58-01 (Réhabilitation orale discipline Biomatériaux), UFR Odontologie de l'Université Côte d'Azur.

Il est rappelé que le présent avis est délivré sans être exclusif des éventuelles démarches visant à la protection des données personnelles à réaliser en interne auprès du délégué à la protection des données (DPD/DPO) de référence.

Si pour une quelconque raison, vous deviez être conduit à modifier votre protocole de recherche, vous êtes tenu de saisir le Comité d'Éthique de la Recherche par l'envoi d'un avenant, qui sera réévalué par le comité.

Fait pour valoir ce que de droit à Nice, le 08 septembre 2023.

Prof. Doct. Yves STRICKLER
Référent éthique et intégrité scientifique d'Université Côte d'Azur
Président du CER (Comité d'Éthique de la Recherche)

Références bibliographiques

1. L'occlusion: d'aujourd'hui à demain. 2e édition. Paris: ID presse édition média; 2023.
2. Pr Ehrmann Elodie. Syllabus occlusodontologie.
3. Orthlieb JD, Darmouni L, Pedinielli A, Jouvin Darmouni J., Fonctions occlusales : aspects physiologiques de l'occlusion dentaire humaine. EMC - Médecine buccale 2013;0(0):1-11 [Article 28-160-B-10]. Les fonctions occlusales.pdf [Internet]. [cité 19 janv 2024]. Disponible sur: <https://archives.uness.fr/sites/unsof/media/O1304-fonctions%20occlusales/data/Les%20fonctions%20occlusales.pdf>
4. Collège national d'occlusodontologie, éditeur. Lexique. Paris: Quintessence international; 2001.
5. Jean Romerwoski. Unithèque. [cité 1 avr 2024]. L'occlusion, mode d'emploi. Disponible sur: <https://www.unitheque.com/occlusion-mode-emploi/reperes/edp-sciences/Livre/79472>
6. Manière-Ezvan JDO J Schittly, D Brocard, A. Occlusodontie pratique [Internet]. [cité 1 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.editionsmdp.fr/boutique/livres/WD7745/occlusodontie-pratique.html>
7. Collège national d'occlusodontologie. Les fiches cliniques - COLLEGE NATIONAL D'OCCLUSODONTOLOGIE [Internet]. [cité 19 avr 2024]. Disponible sur: http://www.occluso.com/670_p_35093/les-fiches-cliniques.html
8. Cazals G, Fleiter B. de l'Appareil Manducateur et leurs facteurs de risque. 2017;
9. Dysfonctions occlusales : anomalies de l'occlusion dentaire humaine.
10. Picart P. DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE.
11. Stone E. Consultation and treatment planning in occlusal rehabilitation. J Prosthet Dent. 1 mars 1962;12(2):326-9.
12. TOLEDO MF de SMS, JÓIAS RP, MARQUES-IASI YS, NEVES ACC, RODE S de M. Thickness and marking quality of different occlusal contact registration strips. J Appl Oral Sci. 2014;22(6):516-21.
13. Gioanni C. OccluSense®: étude de fiabilité du système.
14. Bozhkova T, Musurlieva N, Slavchev D, Dimitrova M, Rimalovska S. Occlusal Indicators Used in Dental Practice: A Survey Study. BioMed Res Int. 3 nov 2021;2021:2177385.
15. Forrester SE, Presswood RG, Toy AC, Pain MTG. Occlusal measurement method can affect SEMG activity during occlusion. J Oral Rehabil. sept 2011;38(9):655-60.
16. Carey JP, Craig M, Kerstein RB, Radke J. Determining a relationship between applied occlusal load and articulating paper mark area. Open Dent J. 2007;1:1-7.
17. Gherlone E, Capparé P, Vinci R, Ferrini F, Gastaldi G, Crespi R. Conventional Versus Digital Impressions for « All-on-Four » Restorations. Int J Oral Maxillofac Implants. 2016;31(2):324-30.
18. Lim JH, Park JM, Kim M, Heo SJ, Myung JY. Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. J Prosthet Dent. 1 févr 2018;119(2):225-32.
19. Sutter BA. A digital poll of dentists testing the accuracy of paper mark subjective interpretation. Cranio J Craniomandib Pract. nov 2018;36(6):396-403.
20. Kerstein RB, Radke J. Clinician accuracy when subjectively interpreting articulating paper markings. Cranio J Craniomandib Pract. janv 2014;32(1):13-23.
21. DeLong R, Ko CC, Anderson GC, Hodges JS, Douglas WH. Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts. J Prosthet Dent. 1 déc 2002;88(6):622-30.
22. Bozhkova T. Comparative Study of Occlusal Contact Marking Indicators. Folia Med (Plovdiv). 31 mars 2020;62:180-4.
23. Biadsee A, Biadsee A, Khalifa A, Mtanis T, Ormianer Z. Clinical evaluation of the agreement between virtual and clinical occlusal registrations: A comparative clinical study. J Prosthet Dent. 21 août 2023;S0022-3913(23)00488-2.
24. Saad MN, Weiner G, Ehrenberg D, Weiner S. Effects of load and indicator type upon occlusal contact markings. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. avr 2008;85(1):18-22.
25. Edher F, Hannam AG, Tobias DL, Wyatt CCL. The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning. J Prosthet Dent. 1 déc 2018;120(6):904-12.
26. Revilla-León M, Barmak AB, Tohme H, Yilmaz B, Kois JC, Gómez-Polo M. Factors that influence the

accuracy of maxillomandibular relationship at maximum intercuspation acquired by using intraoral scanners: A systematic review. *J Dent*. nov 2023;138:104718.

27. Cha C, Pyo SW, Chang JS, Kim S. Digital mounting accuracy of 2 intraoral scanners with a single anterior or bilateral posterior occlusal scan: A three-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*. 1 oct 2023;130(4):612.e1-612.e8.
28. Gan N, Xiong Y, Jiao T. Accuracy of Intraoral Digital Impressions for Whole Upper Jaws, Including Full Dentitions and Palatal Soft Tissues. Papaccio G, éditeur. *PLOS ONE*. 6 juill 2016;11(7):e0158800.
29. Alzahrani SJ, EL-Hammali H, Morgano SM, Elkassaby H. Evaluation of the accuracy of 2 digital intraoral scanners: A 3D analysis study. *J Prosthet Dent*. 1 déc 2021;126(6):787-92.
30. Revilla-León M, Fernández-Estevan L, Barmak AB, Kois JC, Pérez-Barquero JA. Accuracy of the maxillomandibular relationship at centric relation position recorded by using 3 different intraoral scanners with or without an optical jaw tracking system: An in vivo pilot study. *J Dent*. 1 mai 2023;132:104478.
31. Okamoto M, Tanabe N, Fukazawa S, Oyamada Y, Kondo H. Accuracy of optical interocclusal registration using an intraoral scanner. *J Prosthodont Res*. 13 oct 2023;67(4):619-25.
32. Sayed ME, Gangadharappa P. Three-dimensional evaluation of extended pour alginate impression materials following variable storage time intervals and conditions. *Indian J Dent Res Off Publ Indian Soc Dent Res*. 2018;29(4):477-86.
33. Revilla-León M, Kois DE, Zeitler JM, Att W, Kois JC. An overview of the digital occlusion technologies: Intraoral scanners, jaw tracking systems, and computerized occlusal analysis devices. *J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent Al*. juill 2023;35(5):735-44.
34. Solaberrieta E, Otegi JR, Goicoechea N, Brizuela A, Pradies G. Comparison of a conventional and virtual occlusal record. *J Prosthet Dent*. 1 juill 2015;114(1):92-7.
35. Rovira-Lastra B, Khoury-Ribas L, Flores-Orozco EI, Ayuso-Montero R, Chaurasia A, Martinez-Gomis J. Accuracy of digital and conventional systems in locating occlusal contacts: A clinical study. *J Prosthet Dent*. 21 août 2023;S0022-3913(23)00481-X.
36. Solaberrieta E, Garmendia A, Brizuela A, Otegi JR, Pradies G, Szentpétery A. Intraoral Digital Impressions for Virtual Occlusal Records: Section Quantity and Dimensions. *BioMed Res Int*. 2016;2016:7173824.
37. L'Information Dentaire [Internet]. [cité 22 mars 2024]. La dentisterie numérique - Tout simplement. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/produit/la-dentisterie-numerique-tout-simplement/>
38. Jäger K, Vöggtlin C. [Digital workflow with the Lava Chairside Oral Scanner C.O.S. and Lava technique]. *Schweiz Monatsschrift Zahnmed Rev Mens Suisse Odonto-Stomatol Riv Mens Svizzera Odontol E Stomatol*. 2012;122(4):307-24.
39. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health*. 30 janv 2014;14:10.
40. L'Information Dentaire [Internet]. [cité 22 mars 2024]. Stratégie Prothétique - Vol. 5 n°1 - Février 2005. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/produit/vol-5-n1-fevrier-2005/>
41. Ceretti AM, Albertini L. Rapport remis à M. le Ministre du Travail, de l'Emploi et de la Santé Le 24 février 201.
42. Amin S, Weber HP, Finkelman M, El Rafie K, Kudara Y, Papaspyridakos P. Digital vs. conventional full-arch implant impressions: a comparative study. *Clin Oral Implants Res*. nov 2017;28(11):1360-7.
43. Lo Russo L, Caradonna G, Biancardino M, De Lillo A, Troiano G, Guida L. Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies. *J Prosthet Dent*. 1 nov 2019;122(5):435-40.
44. Dentisterie numérique occlusion jaw motion : pourquoi le mouvement est la clé [Internet]. LEFILDENTAIRE magazine dentaire. 2020 [cité 22 mars 2024]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/dentisterie-numerique-occlusion-jaw-motion-pourquoi-le-mouvement-est-la-cle/>
45. Ahmed Rabiey et Adrien Valdares. AOnews le magazine dentaire qui nous rassemble. [cité 16 févr 2024]. Intégration de l'occlusion numérique dans la communication praticien-prothésiste. Disponible sur:

<http://www.aonews-lemag.fr/ao-55-occlusion-numérique-rabiey-valdares/>

46. Fonteneau C, Bouquet F. L'Information Dentaire. 2009 [cité 14 avr 2024]. Intégration de La CFAO directe au cabinet dentaire. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/formations/integration-de-la-cfao-directe-au-cabinet-dentaire/>
47. Goldstein GR. Centric relation: A needed reference position. J Prosthodont. 2023;32(6):482-8.
48. Wilson PHR, Banerjee A. Recording the retruded contact position: a review of clinical techniques. Br Dent J. avr 2004;196(7):395-402.
49. Razek A. Clinical evaluation of methods used in locating the mandibular hinge axis. J Prosthet Dent. oct 1981;46(4):369-73.
50. J.D O. cinématique mandibulaire. Encycl Med Chir Stomatol. 1 janv 1997;1-10.

Serment d'Hippocrate

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'Hippocrate,

Je promets et je jure, au nom de l'Être Suprême, d'être fidèle aux lois de l'Honneur et de la probité dans l'exercice de La Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui se passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon Devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine dès sa conception.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'Humanité.

Respectueux et reconnaissant envers les Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses,

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

Approbation – Improbation

Les opinions émises par les dissertations présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie dentaire (1).

Lu et approuvé,

Vu,
Nice, le

Le Président du jury,

Le Doyen de la Faculté de
Chirurgie Dentaire d'UCA

Professeur

Professeur Laurence LUPI

(1) Les exemplaires destinés à la bibliothèque doivent être obligatoirement signés par le Doyen et par le Président du Jury.

Romain LEQUIEN

Apport des outils numériques dans la consultation occlusale : Présentation d'un protocole de validation et implications cliniques

Thèse : Chirurgie Dentaire, Nice, 2024, n°42 57 24 22

Directeur de thèse : Dr. Eric LEFORESTIER

Mots-clés : Occlusion, caméra intra-orale, empreinte numérique, Medit®, occlusion statique, occlusion dynamique, étude expérimentale, protocole, fiabilité, gouttières occlusales, scan facial

Résumé :

Ce travail explore l'impact des outils numériques dans la consultation occlusale, et met en lumière leur validité et leur fiabilité. À travers le protocole « COMACCO », une comparaison entre les enregistrements conventionnels et numériques a été menée. Elle révèle une cohérence notable dans la comptabilisation et localisation des points d'occlusion. Les résultats tendent à accorder une précision accrue de l'occlusion numérique, offrant une meilleure représentation visuelle et une lecture simplifiée. De plus, l'enregistrement dynamique de l'occlusion ouvre de nouvelles perspectives diagnostiques et thérapeutiques, bien que des défis subsistent, notamment dans l'évaluation des contacts opposés à l'enregistrement.

Son utilisation clinique en fait un outil capable d'optimiser la durée des consultations occlusales, de favoriser la communication patient-praticien et de permettre des traitements plus conformes à la physiologie de nos patients.

Nous avons également étendu nos recherches à la conception de gouttières occlusales par voie numérique. La qualité des dispositifs produits est confirmée. Par ailleurs, l'intégration des scans faciaux à ces enregistrements numériques des arcades représente une tendance émergente qui offre des perspectives prometteuses pour un positionnement plus précis des modèles sur un articulateur virtuel. Ce travail souligne ainsi le développement de solutions numériques prometteuses pour une pratique clinique plus efficace et accessible, tout en appelant à de futures recherches pour valider ces avancées dans un paysage technologique en constante évolution.