

Année 2023

N°

Enregistrement dynamique de l'occlusion : comparaison des moyens conventionnels et numériques

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

présentée
et soutenue publiquement par

MENARD Paul

le 2 Mai 2023 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur Laurent LE GUEHENNEC

Assesseur : Monsieur le Docteur Pierre LE BARS

Assesseur : Madame le Docteur Pauline BLERY

Directeur de thèse : Monsieur le Professeur Laurent LE GUEHENNEC

Co-Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Charles HIBON

| | |
|--|--|
|  Nantes Université | <u>Présidente</u> Pr. BERNAULT Carine |
|  Pôle Santé UFR Odontologie | <u>Doyen</u> Pr. SOUEIDAN Assem |
| | <u>Assesseurs</u> Pr GAUDIN Alexis Pr LE GUEHENNEC Laurent Pr LESCLOUS Philippe |

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

| | |
|---|---|
| ALLIOT-LICHT Brigitte AMOURIQ Yves CHAUX Anne-Gaëlle GAUDIN Alexis LABOUX Olivier LE GUEHENNEC Laurent | LESCLOUS Philippe LOPEZ Serena PEREZ Fabienne SOUEIDAN Assem WEISS Pierre |
|---|---|

Professeur des Universités

| |
|--------------------|
| BOULER Jean-Michel |
|--------------------|

Maitre de conférences

| |
|-----------------|
| VINATIER Claire |
|-----------------|

Professeur Emérite

| |
|------------------|
| GIUMELLI Bernard |
|------------------|

Enseignants Associés

| | |
|--|-----------------------------------|
| GUIHO Romain (Professeur Associé) LOLAH Aoula (MCU Associé) MAITRE Yoann (MCU Associé) | IDIRI Katia (Assistante Associée) |
|--|-----------------------------------|

| Maitres de conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers | Chef de Clinique des Universités - Assistant des Hôpitaux |
|--|---|
| AMADOR DEL VALLE Gilles ARMENGOL Valérie BLERY Pauline BODIC François CLOITRE Alexandra DAJEAN-TRUTAUD Sylvie ENKEL Bénédicte HOORNAERT Alain HOUCHMAND-CUNY Madline JORDANA Fabienne LE BARS Pierre NIVET Marc-Henri PRUD'HOMME Tony RENARD Emmanuelle RENAUDIN Stéphane RETHORE Gildas SERISIER Samuel STRUILLOU Xavier VERNER Christian | BLEU Oriane CLOUET Roselyne EVRARD Lucas GUILLEMIN Maxime HASCOET Emilie HEMMING Cécile HIBON Charles IBN ATTYA Zakarie OYALLON Mathilde QUINSAT Victoire Eugenie PREVOT Diane REMAUD Thomas |

Praticiens Hospitaliers

| | |
|--------------|---------------|
| DUPAS Cécile | HYON Isabelle |
|--------------|---------------|

Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

Remerciements,

A Monsieur le Professeur Laurent LE GUEHENNEC,

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier

Docteur de l'Université de Nantes, habilité à diriger les recherches

Chef du Département de Prothèses

- NANTES -

Pour me faire l'honneur d'avoir accepté la présidence et la direction de ce travail,

Pour la qualité et la précision de vos enseignements aussi bien théoriques que cliniques,

Pour m'avoir aiguillé dans la rédaction de ce manuscrit,

Veillez recevoir le respect et la gratitude qui vous sont dus.

A Monsieur le Docteur Charles HIBON,

Chef de Clinique des Universités- Assistant des Hôpitaux

Département de Prothèses

Praticien libéral

- NANTES -

Pour avoir accepté la co-direction de ce travail,

Pour votre disponibilité et la clarté de vos enseignements durant les vacations cliniques,

Pour m'avoir fait confiance lors de mon premier remplacement au sein de votre cabinet,

Veillez recevoir l'expression de mes plus profonds remerciements et de mon respect le plus sincère.

A Monsieur le Docteur Pierre LE BARS,

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Docteur de l'Université de Nantes

Département de Prothèses

- NANTES -

Pour me faire l'honneur de faire partie de ce jury,

Pour la clarté de vos enseignements, notamment en salle de travaux pratiques et pour la bonne ambiance qui y régnait,

Veillez trouver ici la manifestation de ma profonde estime et de ma gratitude.

A Madame le Docteur Pauline BLERY,

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Docteur de l'Université de Nantes

Département de Prothèses

- NANTES -

Pour avoir accepté de siéger à ce jury,

Pour le partage de vos connaissances et de votre expérience aussi bien en cours que dans les secteurs hospitaliers,

Veillez agréer ma plus grande considération et le respect qui vous sont dus.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION..... | 11 |
| 1. GENERALITES..... | 12 |
| 1.1. LES ARTICULATIONS TEMPORO-MANDIBULAIRES..... | 12 |
| 1.2. L'OCCLUSION..... | 12 |
| 1.3. LES POSITIONS DE REFERENCE..... | 13 |
| 1.4. LES DIMENSIONS VERTICALES | 13 |
| 1.5. LES MOUVEMENTS MANDIBULAIRES..... | 14 |
| 2. MOYENS CONVENTIONNELS POUR L'ENREGISTREMENT DYNAMIQUE DE L'OCCLUSION..... | 15 |
| 2.1. CADRE THÉORIQUE..... | 15 |
| 2.2. LES OUTILS..... | 15 |
| 2.2.1. Le ruban/papier à articuler..... | 15 |
| 2.2.2. Le papier à articuler métallique..... | 18 |
| 2.2.3. Les indicateurs de points de contacts..... | 19 |
| 2.2.4. Les sprays occlusaux..... | 20 |
| 2.2.5. Les élastomères..... | 21 |
| 2.2.6. Les cires d'occlusion..... | 23 |
| 2.2.7. Les bases/maquettes d'occlusion..... | 24 |
| 2.2.8. Les articulateurs mécaniques..... | 26 |
| 2.3. DISCUSSION..... | 27 |
| 3. MOYENS NUMERIQUES POUR L'ENREGISTREMENT DYNAMIQUE DE L'OCCLUSION..... | 28 |
| 3.1. CADRE THEORIQUE..... | 28 |
| 3.2. LES OUTILS..... | 29 |
| 3.2.1. La photo-occlusion..... | 29 |
| 3.2.2. Les capteurs sensitifs..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2.1. Le T-SCAN® – TekScan®..... | 29 |
| 3.2.2.2. L'ACCURA® (Wireless digital occlusal analysis sytem) – Demetec® | 33 |
| 3.2.3. Les arcs faciaux électroniques..... | 35 |
| 3.2.3.1. Le K7x evaluation system® – MyoTronics® | 35 |
| 3.2.3.2. L'ARCUSdigma® – KaVo® | 36 |
| 3.2.3.3. Le Jaw Motion Analyser® – ZEBRIS® | 37 |
| 3.2.4. Les scanners faciaux 3D..... | 38 |
| 3.2.4.1. Le REXCAN CS2® – Medit® | 38 |
| 3.2.4.2. Le SpaceSpider® – Artec® | 40 |
| 3.2.4.3. Le DENTAL PRO® – Bellus 3D® | 41 |
| 3.2.5. Les systèmes avec suivi de cible..... | 43 |
| 3.2.5.1. Le ModJaw® | 43 |
| 3.2.5.2. Le SICAT FUNCTION® : Cerec Articulator et CBCT – Dentsply Sirona®. | 47 |
| 3.2.5.3. Le 4D JawMotion® – Plan Meca® | 50 |
| 3.2.6. Les systèmes intégrés à un scanner intra-oral..... | 51 |
| 3.2.6.1. Le Patient Specific Motion® – 3 Shape® | 51 |
| 3.2.7. Les logiciels de CFAO..... | 55 |
| 3.2.7.1. Les articulateurs virtuels..... | 55 |
| 3.2.7.2. EXOCAD® | 57 |
| 3.2.7.3. PRACTICE LAB® – CAO 3 Shape® | 58 |
| 3.3. DISCUSSION..... | 59 |
| | |
| 4. TABLEAUX COMPARATIFS..... | 61 |
| | |
| CONCLUSION..... | 63 |
| | |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 64 |
| | |
| FIGURES ET TABLEAUX..... | 69 |

INTRODUCTION

Avec l'avènement des nouvelles technologies, la profession de chirurgien-dentiste ne cesse d'évoluer. L'enregistrement de l'occlusion dynamique, essentiel pour l'intégration et la pérennité des restaurations, ne fait pas exception à cela. En effet, c'est principalement l'anatomie des restaurations, dictée par cette occlusion dynamique, qui va permettre les fonctions physiologiques (mastication, phonation et autres).

Après avoir fait quelques rappels et généralités sur les articulations-temporo-mandibulaires et l'occlusion, nous verrons les différents outils qui permettent l'enregistrement de cette dynamique, d'abord ceux dits « conventionnels » puis ceux dits « numériques ».

Ensuite, nous essaierons de les comparer, pour mesurer l'apport de ces nouvelles technologies.

1. GENERALITES

1.1. LES ARTICULATIONS TEMPORO-MANDIBULAIRES (ATM)

Ces articulations font partie d'un ensemble ostéo-dento-musculo-articulaire, appelé système manducateur, lui-même composé de 3 systèmes : le système dentaire (occlusion), le système ostéo-articulaire (ATM, maxillaire et mandibule) et le système neuro-musculaire (muscles masticateurs et système nerveux). C'est l'équilibre de ces systèmes qui va permettre les fonctions de la cavité orale : communication, mastication, déglutition, ventilation.

Les ATM sont paires et symétriques, elles relient la mandibule au crâne. Elles sont composées du condyle mandibulaire et du tubercule articulaire du temporal qui se font face au niveau de la fosse glénoïde via un disque et un ligament articulaire.⁽¹⁾

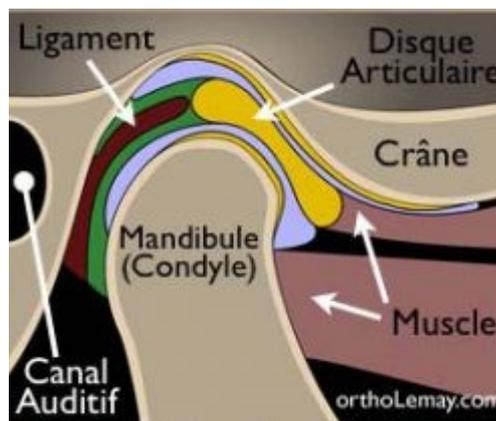


Figure 1: Schéma d'une articulation temporo-mandibulaire⁽²⁾

1.2. L'OCCLUSION

Le système dentaire représente les organes dentaires assemblés en arcades maxillaire et mandibulaire, associé aux autres systèmes et impliqué dans l'appareil manducateur. C'est l'affrontement de ces arcades dentaires au cours de la mise en fonction de l'appareil manducateur qui constitue les fonctions occlusales ou « occlusion ». Elle peut être pathologique, et sera un paramètre à prendre en compte dans n'importe quelle thérapeutique.⁽¹⁾

1.3. LES POSITIONS DE REFERENCE

- L'O.I.M. (occlusion d'intercuspidie maximale) : c'est la position d'occlusion où le rapport d'engrènement dentaire se caractérise par le plus grand nombre de contacts inter-arcades et où l'intensité des contractions isométriques est maximale. Ce rapport est indépendant de la position des condyles dans les fosses mandibulaires. Elle permet, dans des conditions physiologiques, une position mandibulaire précise, unique, médiane et répétitive avec une multiplicité des contacts occlusaux simultanés assurant une répartition des forces sur l'ensemble de la denture (concept de protection mutuelle).
- La R.C. (relation centrée) : c'est la situation condylienne de référence la plus haute, réalisant une coaptation condylo-disco-temporale bilatérale, 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 contacts dentaires. Elle est utile au stade du diagnostic, de l'examen clinique et surtout au moment de la phase thérapeutique pour les reconstructions prothétiques afin de modifier ou de recréer une relation inter-arcades (notamment quand une référence dentaire n'existe plus).⁽¹⁾

1.4. LES DIMENSIONS VERTICALES

On notera surtout la dimension verticale d'occlusion (D.V.O.) et la dimension verticale de repos (D.V.R.). La D.V.O. se définit par la hauteur de l'étage inférieur de la face quand les dents sont en O.I.M.. La dimension verticale de repos correspond à cette hauteur quand la mandibule se situe dans une position « neutre » sans contacts interdentaires (équilibre de la force de gravité par les muscles abaisseurs et élévateurs de la mandibule, tête droite et position neutre des condyles). Il en résulte l'espace libre d'occlusion (ou E.L.I.) qui correspond à la distance entre les surfaces occlusales des dents mandibulaires et maxillaires au repos (soit $E.L.I. = D.V.R. - D.V.O.$).

La modification de ces paramètres (A.T.M., occlusion, position de référence et D.V.) entraîne des conséquences variables, et en dépit des connaissances sur ces sujets, leur détermination et leur appréciation clinique reste très praticien-dépendante.⁽¹⁾

1.5. LES MOUVEMENTS MANDIBULAIRES

A partir des deux mouvements élémentaires des A.T.M. (rotation et translation), on va définir les mouvements fondamentaux (qui sont des mouvements composés, limites et définis à partir de l'O.I.M.) tels que l'abaissement et l'élévation, la propulsion et la rétropulsion, la protraction et la rétrotraction ainsi que les diductions.

L'abaissement et l'élévation correspondent aux mouvements d'ouverture et de fermeture de la bouche situés entre l'O.I.M. et la P.O.M. (position d'ouverture maximale).

La propulsion et rétropulsion correspondent aux déplacements avant/arrière situés en avant de l'O.I.M..

La protraction et rétrotraction correspondent aux déplacements avant/arrière situés en arrière de l'O.I.M..

Les diductions (droite et gauche) sont les mouvements de latéralisation (coté travaillant) et de médialisation (coté non travaillant) de la mandibule depuis l'O.I.M. jusqu'aux points de diduction maximaux (droit et gauche), comprenant une phase d'excursion et une phase d'incursion).

De tous ces mouvements fondamentaux vont découler les mouvements fonctionnels (mastication, phonation, déglutition,...).⁽¹⁾

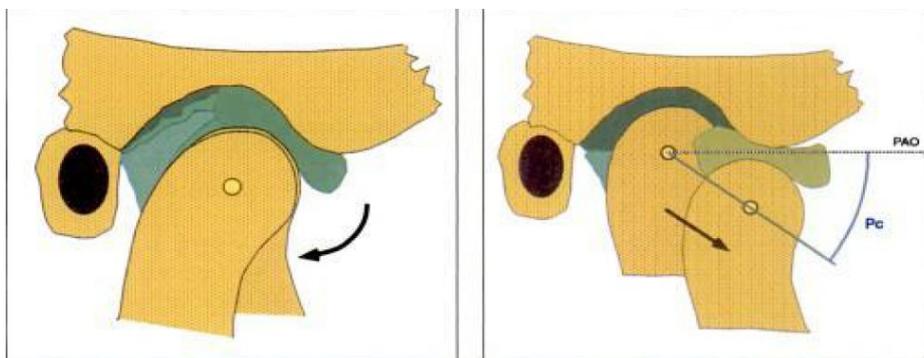


Figure 2 : Mouvements de rotation et de translation des A.T.M.⁽¹⁾

2. MOYENS CONVENTIONNELS POUR L'ENREGISTREMENT DYNAMIQUE DE L'OCCLUSION

2.1. CADRE THÉORIQUE

Ces moyens d'analyse de l'occlusion dynamique sont dits « qualitatifs ». Ce sont les outils les plus communément utilisés dans les cabinets dentaires lorsqu'il s'agit d'évaluer, de transmettre ou de stocker des informations sur l'occlusion du patient. Le choix de l'outil se fera en fonction de la situation clinique, de l'expertise du praticien, de raisons économiques et de confort pour le patient.

^(3,4)

2.2. LES OUTILS

2.2.1. Le ruban/papier à articuler

2.2.1.1. Description

C'est un papier très fin, en fibre de soie naturelle imprégnée d'un adhésif coloré qui va se déposer sur les dents au moment de l'occlusion. Il en existe des différents en largeur, en épaisseur (de 40, 100 voire 200 μ m ; le plus épais sera appelé papier d'occlusion alors que le plus fin sera appelé ruban ou feuille d'occlusion) et en couleur (bleu, rouge, vert, noir,...).⁽⁴⁻⁶⁾

Cet outil massivement utilisé dans les cabinets dentaires permet de localiser les contacts occlusaux.⁽³⁾

Il est souvent utilisé en première intention pour évaluer et ajuster l'occlusion.⁽⁵⁾

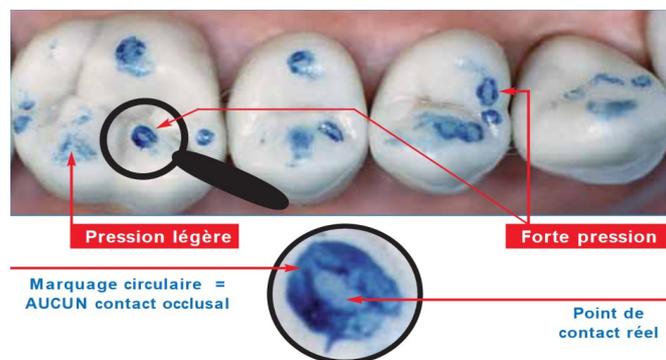


Figure 3 : Marquage avec du papier d'occlusion⁽⁶⁾

2.2.1.2. Avantages

Il est très facile d'utilisation. Certains fabricants ont créé des papiers à articuler avec ajout d'émulsifiants, d'agents de liaison (cf *Transculase*®) ou agents mouillants ce qui leur confère de meilleures propriétés de marquage sur les surfaces humides. Il est conseillé d'utiliser le papier le plus fin possible en fonction de la situation (exemple : +/- 8µm sur dent naturelle, ce qui est la sensibilité « tactile » minimale de l'occlusion, et plus épais sur dent restaurée) car on sera plus précis, et de préférence rouge.⁽⁴⁾

L'utilisation de papiers de différentes couleurs peut être intéressante pour évaluer la dynamique du patient : utilisation de papier bleu pour l'occlusion statique puis utilisation de papier rouge pour l'occlusion dynamique.⁽⁶⁾

2.2.1.3. Inconvénients

Il présente le désavantage d'être fragile (abîmé par la salive et le milieu buccal, sujet à la déformation et à la perforation), inflexible, parfois trop épais, ce qui peut conduire au marquage de pseudo-contacts. Quand il est utilisé plusieurs fois on observe une baisse de l'efficacité pour enregistrer les contacts occlusaux. Il est donc peu reproductible.

Du fait de sa dégradation dans la salive l'enregistrement doit se faire dans un environnement le moins humide possible.^(4,7)

Le papier à articuler ne permet pas de mesurer la charge occlusale : il n'a pas été établi de corrélation entre l'intensité d'un contact et la taille de la marque laissée. Il ne permet pas non plus

d'apporter une indication sur la temporalité du contact entre deux dents, donc ne s'avère pas utile pour évaluer des prématurités. La méconnaissance de ces facteurs amène à un grand nombre d'erreurs et de pseudo-contacts qui sont corrigés à tort. En effet, plusieurs études montrent que 80% des marques n'ont aucun rapport avec la réelle force appliquée et que la marque la plus importante en taille correspond dans seulement 38% des cas à la force la plus importante : le praticien modifiera alors dans 62% des cas la mauvaise dent ou la mauvaise partie d'une dent.⁽³⁾

Il a également été montré que plus le papier est épais plus la marque est importante, et qu'une marque laissée par un papier plus fin est contenue dans celle réalisée avec un papier plus épais. Tout cela suggère donc l'utilisation d'un papier le plus fin possible pour éviter des rectifications non nécessaires.⁽⁸⁾

Pour conclure, les études ont déduit que c'est avant tout la forme des dents qui dicte la taille et la position des marques laissées (par exemple : 2 surfaces planes en occlusion laisseront une marque étendue alors qu'une surface pointue sur une surface plane laissera une petite marque, sans pour autant être un contact moins intense).⁽⁷⁾

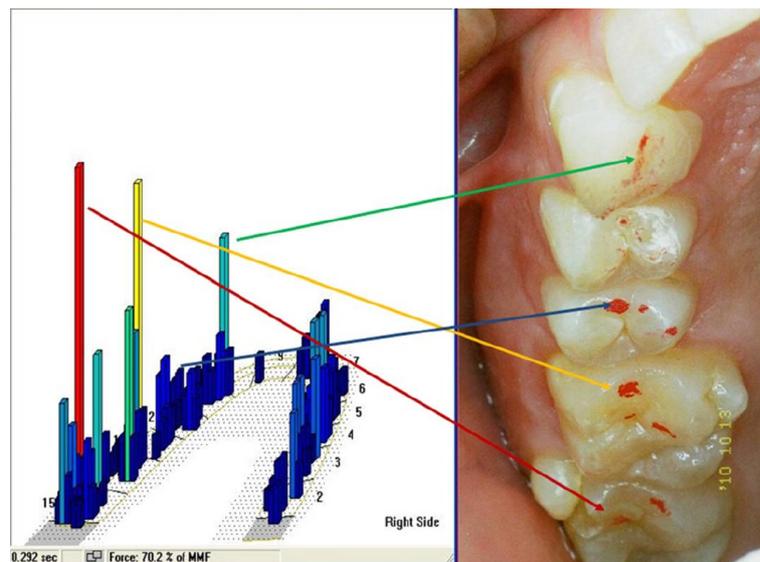


Figure 4 : Illustration montrant que la taille et l'intensité de la marque laissée n'est pas en corrélation avec la réelle force du contact⁽³⁾

2.2.2. Le papier à articuler métallique

2.2.2.1. Description

C'est une feuille métallisée (dit « shimstock foil ») contenant ou pas des colorants, d'une épaisseur très fine (de 8 à 12 μ m) permettant d'évaluer les contacts occlusaux.⁽⁶⁾



Figure 5 : Composition du papier à articuler métallique⁽⁶⁾

2.2.2.2. Avantages

Sa composition métallique le rend plus résistant, et lui permet d'être utilisé sur des restaurations en métal, en céramique, en résine, en composite,... tout en restant efficace et résistant à l'humidité et à la déchirure. Sa fine épaisseur permet même le contrôle des contacts proximaux au moment de l'insertion de restaurations métalliques, céramiques,...⁽⁶⁾

Cependant il n'y a pas d'étude sur ce papier à articuler dans la littérature.



Figure 6 : Utilisation du papier à articuler métallique sur des restaurations en céramique⁽⁶⁾

2.2.3. Les indicateurs de points de contacts

2.2.3.1. Description

Les indicateurs de points de contacts s'appliquent au pinceau et laissent un film coloré d'environ 3µm qui va être « effacé » à l'endroit où il y a des contacts (perturbateurs ou normaux).⁽⁶⁾

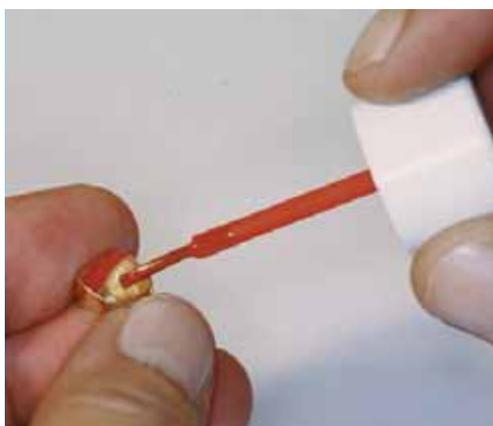


Figure 7 : Application au pinceau de l'indicateur de points de contacts⁽⁶⁾

2.2.3.2. Avantages

Ils permettent le contrôle de l'occlusion mais aussi de restaurations et zones métalliques, en céramique ou autres. De plus ils s'éliminent aisément (avec l'eau de la seringue), ne restent pas sur les surfaces très longtemps et ne sont pas toxiques.⁽⁶⁾

Cependant il n'y a pas d'étude sur ces indicateurs dans la littérature.

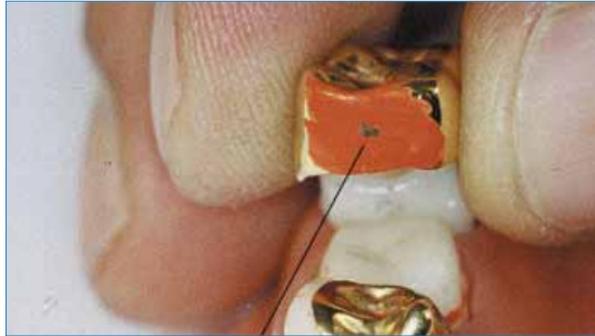


Figure 8 : Mise en évidence du contact perturbateur⁽⁶⁾

2.2.4. Les sprays occlusaux

2.2.4.1. Description

Le principe est le même que les indicateurs de points de contacts mais ici le colorant est diffusé sous forme de spray.⁽⁶⁾

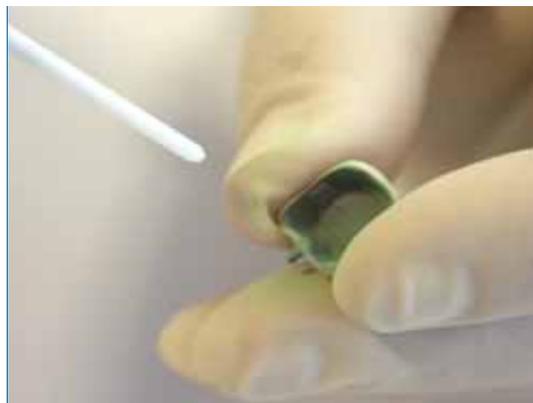


Figure 9 : Application du spray occlusal (ici dans l'intrados d'une prothèse)⁽⁶⁾

2.2.4.2. Avantages

Les sprays permettent le marquage des contacts occlusaux mais sont aussi utilisés pour l'ajustement proximal des restaurations. De plus, leur élimination est également très aisée et non nocive.⁽⁶⁾

Cependant il n'y a pas d'étude sur ces sprays dans la littérature.

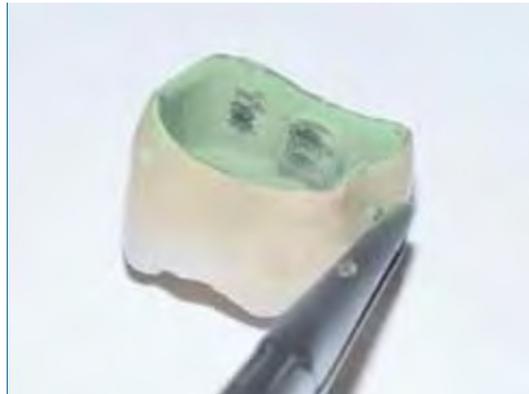


Figure 10 : Mise en évidence du contact perturbateur (ici dans l'intrados d'une prothèse)⁽⁶⁾

2.2.5. Les élastomères

2.2.5.1. Description

Ce sont surtout les silicones par addition qui sont utilisés, même si certains polyéthers présentent des caractéristiques plus ou moins similaires. Ils sont réservés aux situations avec une O.I.M. stable.⁽⁹⁾

En effet ils serviront principalement à repositionner et maintenir les modèles en O.I.M. sur articulateur ou occluseur.⁽¹⁰⁾



Figure 11 : Enregistrement des rapports occlusaux avec un silicone par addition⁽¹⁰⁾

2.2.5.2. Avantages

Une fois polymérisés ils présentent une bonne résistance mécanique.⁽⁹⁾

La perforation n'est pas à éviter, on cherche même à l'obtenir car le matériau ne doit pas interférer avec l'O.I.M., il sert juste de repère.⁽¹⁰⁾

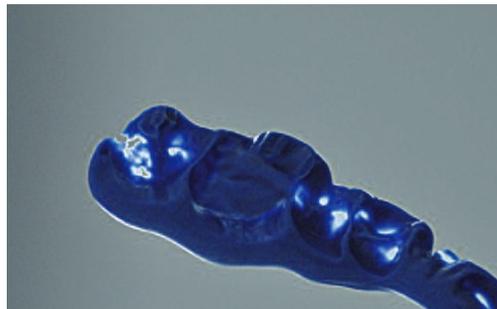


Figure 12 : perforations recherchées après enregistrement⁽¹⁰⁾

2.2.5.3. Inconvénients

Ce sont des matériaux compressifs et leur réaction de prise se poursuit dans le temps ce qui entraîne une contraction du matériau. De plus les forces exercées sur ce matériau pendant le montage des modèles sur articulateur entraînent une perte de précision.⁽⁹⁾

2.2.6. Les cires d'occlusion

2.2.6.1. Description

Ce sont des outils d'enregistrement des rapports occlusaux pour certaines positions (O.I.M. ou O.R.C.). Elles sont d'origine végétale, minérale ou synthétique.⁽¹¹⁾

2.2.6.2. Avantages

Les cires d'origine minérale (type cire *Moyco*®) présentent une meilleure résistance au fluage. Les cires utilisées en pratique quotidienne doivent avoir une précision de surface et une stabilité dimensionnelle optimale ; pour ce faire elles peuvent être chargées de métal (cf *Aluwax*®,...) ou de cire minérale (cf cires dures type *Moyco*®,...)⁽¹²⁾

Elles ont été spécialement conçues pour l'enregistrement des contacts occlusaux.⁽¹⁰⁾



Figure 13 : Enregistrement des rapports occlusaux avec une cire d'occlusion⁽¹¹⁾

2.2.6.3. Inconvénients

Les propriétés mécaniques des cires sont relativement faibles par rapport aux autres matériaux dentaires utilisés et varient en fonction de la température et de leur composition. Les cires molles (type *modeling-wax*,...) sont à proscrire car trop fragiles.

Les cires d'origine minérale sont fragiles et présentent un coefficient de dilatation thermique

plus élevé. Les cires végétales ont une moins bonne résistance au fluage, notamment à température ambiante. Les cires synthétique ont des propriétés plutôt faibles, mais elles entrent souvent dans la composition de mélanges pour pallier les défauts des cires naturelles.^(9,10,12)

2.2.7. Les bases/maquettes d'occlusion

2.2.7.1. Description

Ces maquettes préfigurent en forme et en volume la future restauration prothétique et elles servent notamment à l'enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire dans les 3 plans de l'espace et donc au montage des modèles sur articulateur. Elles sont composées d'une base en résine ou en cire qui doit être assez rigide (pour ne pas se déformer pendant et après l'enregistrement,) qui prend appui sur les surfaces muco-osseuses et les dents restantes. Cette base est surmontée d'un bourrelet en cire dure ou en composition thermoplastique (type *stent's*,...). Elles sont très largement utilisées pour enregistrer l'occlusion du patient, que ce soit en prothèse fixe ou amovible.^(10,11)

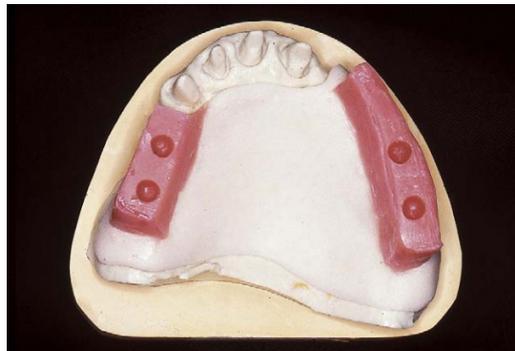


Figure 14 : Maquette d'occlusion (base en résine et bourrelets en cire ici)⁽¹¹⁾

2.2.7.2. Avantages

Elles sont adaptables à la situation clinique du patient (on peut ajouter ou retirer de la matière pour s'adapter au mieux à notre patient) et ont un faible coût.⁽¹¹⁾



Figure 15 : Essayage de la maquette en bouche⁽¹¹⁾



Figure 16 : Montage en articulateur grâce aux maquettes d'occlusion⁽¹¹⁾

2.2.7.3. Inconvénients

En revanche elles présentent une difficulté de manipulation nécessitant dextérité et expérience, une reproductibilité assez faible, une compliance du patient plus difficile à obtenir (volume important de la maquette en bouche, difficultés de lui faire comprendre les mouvements à exécuter,...). Leur utilisation est donc très opérateur dépendant.⁽¹¹⁾

On ne transmet au prothésiste qu'une représentation statique des mouvements du patient en enregistrant certaines positions limites.

2.2.8. Les articulateurs mécaniques

2.2.8.1. Description

Ces outils servent, via les modèles positifs du patient, à simuler, à évaluer et analyser les mouvements mandibulaires à partir de certaines positions de référence (OIM, ORC) et des rapports cranio-mandibulaires enregistrés au préalable. Les mouvements possibles sont : ouverture/fermeture, protrusion/rétrusion et latéralités. Ils sont utiles dans la réalisation et la conception prothétique. En effet ils permettent d'analyser les paramètres occlusaux et leur matérialisation, de quantifier les aménagements (chirurgicaux ou non) et de les simuler, de réaliser des prothèses transitoires et des guides chirurgicaux ainsi que des dispositifs occlusaux. Ainsi, l'étude pré-prothétique sur articulateur permet de dicter le choix du type de restauration prothétique en se basant sur des considérations esthétiques et fonctionnelles. Ils sont pré-réglés, semi-adaptables ou complètement adaptables.^(13,14)

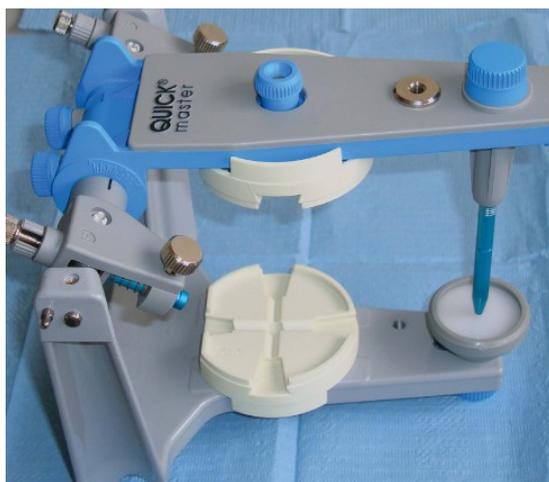


Figure 17 : Exemple d'articulateur semi-adaptable⁽¹³⁾

2.2.8.2. Avantages

Ce sont de bons outils pour se faire une idée de l'occlusion du patient (il est possible d'évaluer le plan d'occlusion et ses courbes, les égressions, les malpositions,...) et pour la planification thérapeutique. On peut analyser, dans tous plans de l'espace et hors de la bouche du patient (avec tous les obstacles qu'elle présente) les rapports occlusaux.⁽¹³⁾



Figure 18 : Montage en articulateur grâce à l'enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire⁽¹³⁾

2.2.8.3. Inconvénients

Ces dispositifs sont statiques, ne permettant donc qu'une simulation et non une reproduction de la vraie occlusion dynamique du patient, notamment pour ce qui est de la mastication. Il est parfois compliqué d'y monter avec précision les modèles et ce malgré l'usage d'un arc facial (il y a un manque d'informations sur la position réelle des condyles).^(13,15)

Sur les modèles en plâtre il n'est pas possible d'évaluer la dépressibilité des tissus environnant les dents. Des imprécisions sont liées à la procédure de montage (orientation de la table de montage, contraction de prise du plâtre, déformation du matériau d'enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire,...).⁽¹⁶⁾

2.3. DISCUSSION

La sensibilité et la fiabilité de ces techniques sont sujettes à l'imprécision notamment due à leur difficulté de manipulation, leur épaisseur, leur résistance et leur élasticité souvent faibles dans le milieu buccal, conduisant à leur déformation.

Mais surtout, l'analyse occlusale résultant de ces méthodes sera subjective et son interprétation différera en fonction des praticiens.

De plus, ces techniques sont limitées à la visualisation de la position des contacts sans pouvoir en mesurer l'intensité.⁽³⁾

3. MOYENS NUMÉRIQUES POUR L'ENREGISTREMENT DYNAMIQUE DE L'OCCLUSION

3.1. CADRE THÉORIQUE

L'avènement des nouvelles technologies a permis de nombreuses avancées, notamment en ce qui concerne l'enregistrement de l'occlusion dynamique. Le « rêve » du dentiste de pouvoir « dupliquer » son patient pour l'envoyer chez le prothésiste devient de plus en plus réel. En effet, grâce aux outils que nous décrirons par la suite, le praticien, en collectant bon nombre de données, va pouvoir recréer un véritable avatar virtuel du patient.

La révolution se fait par un changement de paradigme, le flux de travail du cabinet devenant tout, ou en partie, numérique. Elle a commencé par l'apport des empreintes numériques qui ont montré une précision d'enregistrement au moins équivalente à celle des empreintes conventionnelles, sans être significativement supérieure.⁽¹⁷⁾

Avec ces nouveaux outils le praticien va pouvoir s'affranchir de facteurs opérateur-dépendants, en réduisant les temps au fauteuil et le coût des traitements, tout en améliorant l'expérience et la compliance du patient (encombrement en bouche moins important et donc utile pour les patients avec un réflexe nauséeux). C'est également un outil pédagogique qui permet de montrer au patient les modèles sur ordinateur.

L'empreinte peut être modifiée, entièrement ou partiellement.⁽¹⁷⁾

L'apport du CBCT (Cone Beam Computed Tomography ou Cone Beam ou Imagerie volumétrique par faisceau conique) est également un réel atout. Il présente l'avantage de pouvoir montrer et manipuler, dans les 3 plans de l'espace, les structures anatomiques, osseuses et articulaires. Il est aujourd'hui commun d'en trouver dans les cabinets dentaires, ce qui n'est pas possible pour une IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) ou un scanner « conventionnel ».⁽¹⁵⁾

Il nous faut introduire le concept de *FGP* (Functionally Generated Pathway ou chemin généré fonctionnellement) qui est la représentation et la synthèse statique des mouvements dynamiques du patient qui permet de passer d'un ensemble de mouvements 3D digitaux à un

modèle physique 2D prenant en compte tous ces mouvements.⁽¹⁸⁾

Toutes ces données numériques, une fois accordées ensemble, permettent de concevoir la pièce prothétique la plus adaptée possible.

3.2. LES OUTILS

3.2.1. La photo-occlusion

Cette technique historique consistait en l'insertion d'un film photo-plastique assez rigide (d'environ 0,1mm) entre les arcades dentaires, au niveau des surfaces occlusales, sur lequel le patient mordait pendant 10 à 20 secondes. Ensuite le film était analysé sous un polariscope et dévoilait l'intensité des contacts. Il a été montré que la plaque photo-élastique augmentait l'intensité des contacts postérieurs et diminuait celle des contacts antérieurs. Les chercheurs en ont donc conclu que cette technique était compliquée à mettre en œuvre et était peu reproductible pour une analyse fiable de l'occlusion.⁽³⁾

3.2.2. Les capteurs sensitifs

3.2.2.1. Le T-SCAN® - TekScan®

3.2.2.1.1. Description

Cet outil permet d'examiner de manière objective la dynamique occlusale. Il est composé d'une poignée (*Novus*) dans laquelle on insère un capteur de pression en forme de « U »/d'arcade dentaire de 0,1mm d'épaisseur en polytéréphtalate d'éthylène, avec 2580 sensels/cm² ^(3,19) pour l'enregistrement. Le capteur est composé d'une ligne de conduction qui crée un réseau de petits « carrés » sensibles à la pression appelés « sensels » (cf Pixels,...). Quand une force est exercée la tension baisse dans les sensels et ces changements sont digitalisés et montrés sur le logiciel T-Scan®.⁽¹⁹⁾

La poignée se connecte via un port USB à un ordinateur, ce qui le rend facilement intégrable dans le flux de travail. Il permet d'évaluer la localisation, l'intensité et la chronologie des contacts occlusaux, ainsi que d'identifier les contacts prématurés, les interférences et les forces excessives.⁽²⁰⁾



Figure 19 : Système T-SCAN® avec le capteur sensitif, la poignée et le fil relié à la prise USB⁽²⁰⁾

3.2.2.1.2. Mise en œuvre

On place le capteur entre les deux arcades du patient, le patient mord et le T-SCAN® analyse l'ordre dans lequel les contacts se font, du premier contact jusqu'à l'OIM (ce qui se fait en 1 à 3 secondes, le premier contact étant souvent au niveau des incisives centrales).⁽²¹⁾

Le praticien peut alors procéder à une analyse statique de l'occlusion : identification (avec l'aide préalable de papier à articuler) des contacts en jeu pendant l'OIM, des prématurités. Il peut également réaliser une analyse dynamique de l'occlusion : avec l'enregistrement des variations de forces en entrée ou sortie d'OIM, des différences gauche/droite,... le tout est visualisable via des graphiques colorés relatant en temps réel les forces relatives à une dent ou un groupe de dents.⁽³⁾

Le logiciel présente donc une interface avec des graphiques colorés en 2D ou 3D qui exposent les données enregistrées (par quadrants). Pour les graphiques 2D les contacts occlusaux sont visualisés sous forme de cellules ou contours de différentes superficies et couleurs (de bleu à rouge en fonction de l'intensité de la force exercée). Pour les graphiques 3D, les contacts sont représentés en colonnes de différentes tailles et couleurs (également de bleu à rouge en fonction de l'intensité de la force exercée). En plus d'analyser l'intensité relative des contacts, il permet de visualiser les prématurités.⁽²¹⁾

Une des nouveautés du logiciel (T-SCAN® v9.1) est la possibilité de charger les surfaces

occlusales maxillaires et mandibulaires de chaque patient en 3D, en intégrant des modèles numériques et l'enregistrement des mouvements mandibulaires pour avoir les données les plus significatives possibles sur le patient. Cependant l'alignement en lui même doit être fait manuellement, sans référence objective, ce qui est une source d'erreurs d'interprétation.⁽²²⁾



Figure 20 : Utilisation du T-SCAN®, le patient mord sur le capteur sensible⁽²³⁾

3.2.2.1.3. Résultats des études

Un des inconvénients de ce dispositif est l'épaisseur du détecteur de pression qui est de 0,1mm, et qui se comprime jusqu'à 0,06mm sous la force occlusale, ce qui peut très probablement interférer avec la position d'intercuspédie maximale du patient. Le temps au fauteuil peut être augmenté au moment de l'enregistrement par rapport à une méthode conventionnelle, mais il y aura normalement moins d'ajustements occlusaux à effectuer sur la restauration ce qui contrebalancera la « perte » de temps initiale.⁽³⁾

Quand il est utilisé plusieurs fois on observe une baisse de l'efficacité pour enregistrer les contacts occlusaux.

C'est pourquoi l'enregistrement doit se faire dans un environnement le moins humide possible.⁽⁴⁾

Certains rapports ont indiqué que la surface du capteur ne montrait pas toujours une sensibilité uniforme, et ce dès la première utilisation. Le dispositif nécessite des améliorations pour trouver précisément la position intra-orale des contacts (le logiciel n'est pas assez précis pour savoir exactement à quel contact cela fait référence en bouche) et cela explique pourquoi cet outil n'est pas communément utilisé par les praticiens.^(5,19,23)

De plus, la forme du capteur n'est pas modifiable et donc pas adaptée à toutes les formes d'arcades dentaires.

Un des avantages est que l'épaisseur du capteur ne varie pas, alors que celle du papier à

articuler varie en fonction des fournisseurs, et qu'il ne se dégrade pas au contact de la salive et de la cavité buccale.⁽⁵⁾

Bien qu'il n'ait pas été conçu pour cela, les images qu'il produit peuvent permettre d'analyser les zones de contacts occlusaux, afin de réaliser des ajustements plus précis et ce, de manière objective. Il a surtout été étudié dans le cadre de la recherche mais pourrait se révéler utile dans une application quotidienne au cabinet dentaire.^(21,24)

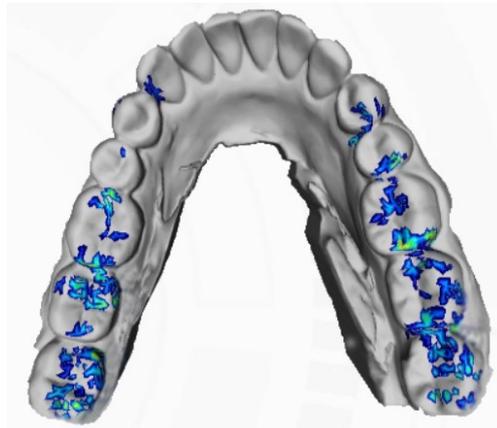


Figure 21 : Analyse statique de l'occlusion avec le T-SCAN®⁽⁵⁾

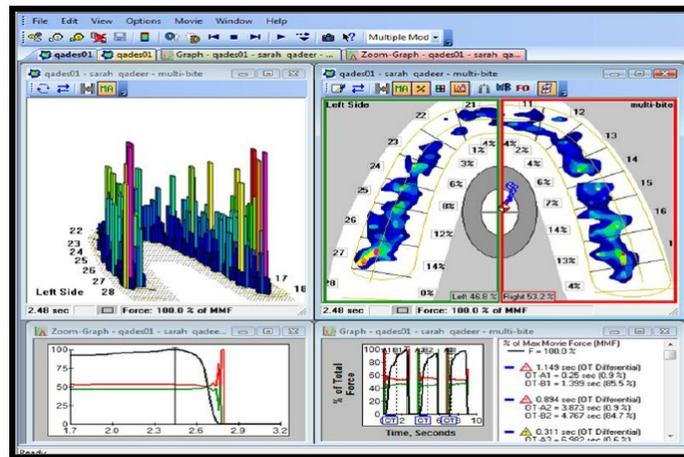


Figure 22 : Analyse dynamique avec des graphiques 3D et 2D⁽⁵⁾

3.2.2.2. L'ACCURA® (Wireless digital occlusal analysis system) – DEMETEC®

3.2.2.2.1. Description

Ce système d'analyse digitale de l'occlusion comprend un capteur sensitif (en polyimide de 160µm d'épaisseur)⁽¹⁹⁾, une pièce à main ergonomique et un logiciel. La pièce à main est connectée par *Wi-Fi* au logiciel (moins d'interférences, et poids du dispositif réduit). Il va également permettre une analyse dynamique de l'occlusion, en temps réel, ainsi qu'une visualisation de la séquence des contacts.⁽²⁵⁾

3.2.2.2.2. Mise en œuvre

Tout comme le T-SCAN® le patient va mordre sur le capteur sensitif, et le logiciel va analyser la position, l'intensité et la chronologie des contacts occlusaux. Le tout est visualisable sur des graphiques 2D et 3D.



Figure 23 : Système Accura® avec le capteur sensitif et la poignée sans fil⁽²⁵⁾



Figure 24 : Le patient mord sur le capteur sensitif pour l'enregistrement⁽²⁵⁾

3.2.2.2.3. Résultats des études.

Les études ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les 2 systèmes (*T-SCAN*® et *ACCURA*®) pour indiquer l'O.I.M. (il y a 82% de chance d'indiquer un contact avec le *T-SCAN*® qui le sera aussi avec *ACCURA*®).⁽¹⁹⁾

Mais il existe tout de même des différences notables, notamment au niveau du capteur, ce qui explique les divergences en termes de précision. En effet le capteur du *T-SCAN*® est fait de polytéréphtalate d'éthylène et fait 100µm d'épaisseur alors que celui de l'*ACCURA*® est fait de polyimide et fait 160µm d'épaisseur, son capteur sensitif est alors plus rigide, et sa plus grande épaisseur fait qu'il va plus facilement interférer avec l'occlusion. Le capteur du *T-SCAN*® possède 2580 sensels/cm² contre 2329 sensels/cm² pour l'*ACCURA*®. Toutes ces différences peuvent expliquer les écarts de précision dans la détection des contacts occlusaux (notamment pour les contacts antérieurs).

Les principales limites du *T-SCAN*® et de l'*ACCURA*® sont : la difficulté de trouver précisément la localisation du contact en bouche, la sensibilité qui n'est pas uniforme sur tout le capteur avec parfois des malfunctions, et l'épaisseur du capteur qui peut interférer avec l'occlusion. De plus si les contacts sont trop rapprochés le logiciel n'en montrera qu'1 au lieu des 2. Pour conclure, la principale différence entre les 2 systèmes est au niveau du capteur sensitif : son épaisseur et sa résolution en sensels, ce qui crée des différences de précision.⁽¹⁹⁾

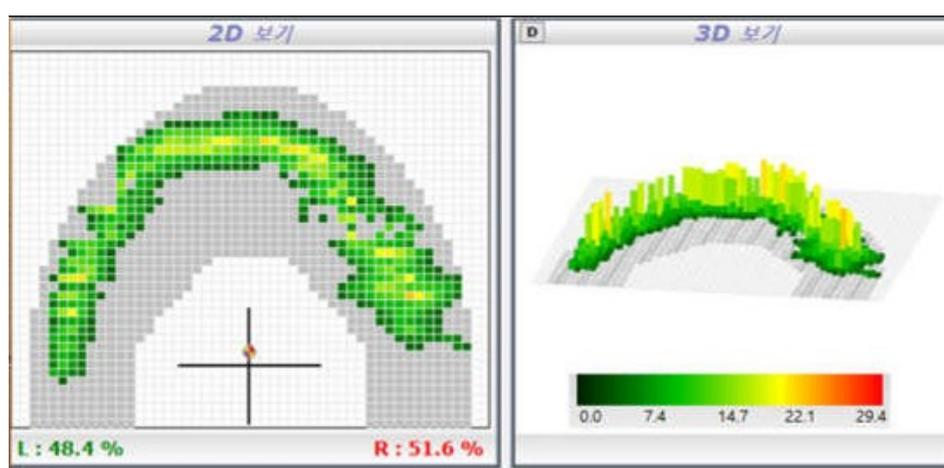


Figure 25 : Analyse via des graphiques 2D et 3D⁽¹⁹⁾

3.2.3. Les arc faciaux électroniques

3.2.3.1. Le K7x evaluation system® – MyoTronics®

3.2.3.1.1. Description

Cet outil contient 3 technologies pour mesurer, afficher et stocker des informations objectives sur l'anatomie et la physiologie de la fonction du patient : un traqueur des mouvements mandibulaires, un électromyographe et un sonographe des ATM. Il est couplé à un logiciel qui va permettre de visualiser ces informations sur des graphiques colorés pour une meilleure compréhension de l'occlusion du patient.⁽²⁶⁾



Figure 26 : Dispositif mis en place, de manière non invasive⁽²⁶⁾

3.2.3.1.2. Mise en œuvre

Le traqueur mandibulaire utilise de nombreux capteurs (placés sur un ensemble très léger) qui vont suivre les mouvements d'un petit aimant positionné au niveau des incisives inférieures. Ceci est donc totalement non-invasif et n'interfère pas avec les fonctions du patient.⁽²⁶⁾

Avec ce dispositif on va pouvoir paramétrer des articulateurs virtuels complètement programmables avec des données propres au patient.⁽²⁷⁾

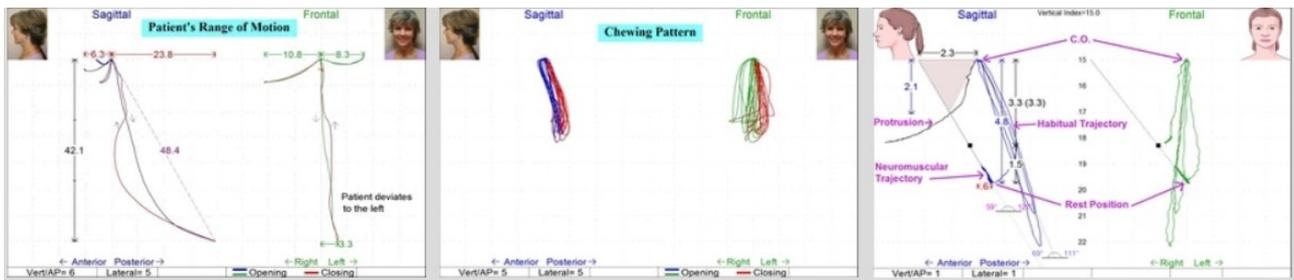


Figure 27 : Enregistrement avec le K7x®⁽²⁷⁾

3.2.3.2. L'ARCUSdigma® – KaVo®

3.2.3.2.1. Description

Cet arc facial électronique est complètement intégrable dans l'unité de soins.⁽²⁸⁾

Il est composé d'un arc facial électronique et d'un capteur de mouvements attaché à la mandibule. Il enregistre les mouvements mandibulaires relatifs à l'arc facial électronique grâce la détection des mouvements et aux différents équipements positionnés sur la tête du patient.⁽²⁷⁾



Figure 28 : Arc facial électronique ARCUSdigma®⁽²⁸⁾

3.2.3.2.2. Mise en œuvre

Il permet, par plusieurs méthodes d'acquisition de la relation centrée, une analyse des positions thérapeutiques du patient. Tout cela amène *in fine* à l'analyse des mouvements mandibulaires, à la localisation des positions douloureuses pour les ATM, à l'analyse sagittale 3D, et éventuellement à l'analyse de l'activité musculaire (Électromyogramme).

Les images acquises sont ensuite visualisables sur le logiciel *ARCUSdigma*® et transférables vers le laboratoire de prothèse. Les données enregistrées peuvent également s'intégrer dans des articulateurs virtuels complètement programmables.⁽²⁸⁾

3.2.3.3. Le Jaw Motion Analyser® – ZEBRIS®

3.2.3.3.1. Description

Cet arc facial électronique est couplé avec un capteur spécifique attaché à la mandibule (le *JawMotionAnalyser+*®). Ce système est basé sur la vitesse d'ultrasons émis, où des signaux sont envoyés depuis 3 transmetteurs qui sont sur le capteur mandibulaire (qui est du côté vestibulaire de l'arcade mandibulaire), et réceptionnés par 4 receveurs placés sur l'arc facial (donc opposé à eux) afin de détecter tous les mouvements de rotation et de translation de la mandibule.^(29,30)



Figure 29 : Capteur mandibulaire avec transmetteurs et arc facial électronique avec receveurs⁽³¹⁾

3.2.3.3.2. Mise en œuvre

Le patient effectue les mouvements et les ultra-sons sont ensuite utilisés pour mesurer la position de ces points dans l'espace (qui décrivent les mouvements physiologiques et le cycle masticatoire du patient). Une fois les données acquises, la trajectoire des mouvements du patient est simulée avec les modèles digitalisés insérés dans l'articulateur virtuel. Le modèle mandibulaire est

ensuite localisé en relation centrée avec le modèle maxillaire en faisant mordre le patient sur un capteur électronique. Et finalement les mouvements 3D sont visualisables dans tous les plans de l'espace sur l'interface du logiciel.⁽³⁰⁾

Pour résumer, les ultrasons mesurent la position de la mâchoire en temps réel, comme le ferait un GPS pour notre position sur la Terre.⁽²⁹⁾

3.2.3.3.3. Résultats des études

Les données du *JMA+*® peuvent être couplées à celles de modèles numériques, mais aussi à celles d'un scanner facial 3D (*Bellus 3D Pro*®, *Rexcan CS2*® ou *SpaceSpider*®) et/ou d'un CBCT, le tout permettant de re-construire un « patient virtuel » dans un environnement 3D propre (tissus durs et mous, arcades dentaires, mouvements musculaires, occlusion dynamique,...). Cette technique permet d'intégrer toutes ces données au flux de travail (entièrement numérique), ce qui est difficile avec les données d'un articulateur mécanique.⁽³¹⁾

3.2.4. Les scanners faciaux 3D

3.2.4.1. Le REXCAN CS2® – Medit®

3.2.4.1.1. Description

C'est un scanner 3D complètement automatisé qui permet de réaliser la « capture » 3D de divers objets. Il peut être utilisé comme scanner facial.⁽³²⁾



Figure 30. : Scanner 3D Rexcan®⁽³²⁾

3.2.4.1.2. Mise en œuvre

Après avoir préalablement enregistré des modèles numériques (soit par scan intra-oral soit par digitalisation de modèles physiques), une « cible » est placée sur le maxillaire (fixe) et la mandibule du patient puis le scanner 3D enregistre le suivi de la cible mandibulaire pendant les différents mouvements du patient. On peut ensuite importer les données dans un environnement virtuel en utilisant un logiciel de CAO (*ExoCad*® e.g.) et y appliquer les mouvements enregistrés. Les données sur la position de la « cible » sont enregistrées en temps réel pendant les mouvements mandibulaires.⁽²⁷⁾

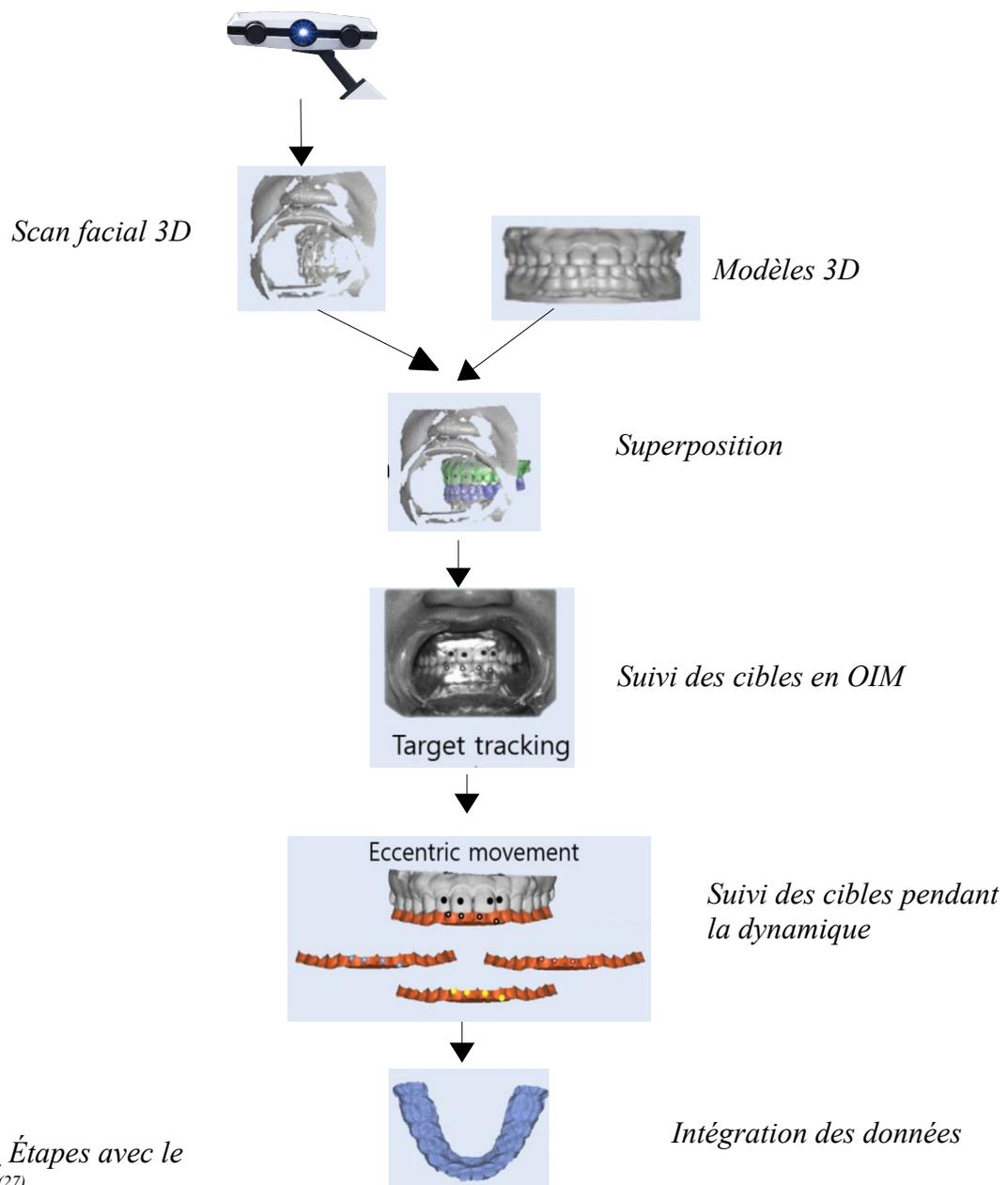


Figure 31 : Étapes avec le REXCAN®⁽²⁷⁾

3.2.4.1.3. Résultats des études

En utilisant une méthode d'impression 3D et les données du *FGP*, on va pouvoir réaliser des maîtres modèles avec la bonne relation dynamique entre maxillaire et mandibule et donc la restauration la plus adaptée.⁽²⁷⁾

3.2.4.2. Le SpaceSpider® – Artec®

3.2.4.2.1. Description

Ce scanner industriel 3D haute résolution peut enregistrer des moulages, des parties du corps humain,... et ensuite exporter le modèle 3D vers un logiciel de CAO.⁽³³⁾

Il peut s'avérer utile pour évaluer le sourire du patient et essayer par la suite d'aligner au mieux les restaurations au niveau du sourire et de manière fonctionnelle.⁽³⁴⁾



Figure 32 : Scanner 3D Artec® SpaceSpider®⁽³³⁾

3.2.4.2.2. Mise en œuvre

Grâce au scanner portable 3D *ARTEC® SpaceSpider®* on peut scanner entièrement en quelques secondes le visage du patient et son sourire. On place le patient dans la position de référence (OIM ou ORC) ou limite choisie (diduction droite ou gauche,...), et sans maquette d'occlusion en bouche, on va enregistrer avec le scanner facial 3D cette position. Le scan du visage peut ensuite être combiné à des modèles numériques dans le logiciel de la caméra ou des logiciels de CAO (*ExoCad®* ou *GeoMagic®* e.g.), le tout pouvant être transmis au prothésiste pour la

réalisation des prothèses.⁽³⁴⁻³⁶⁾

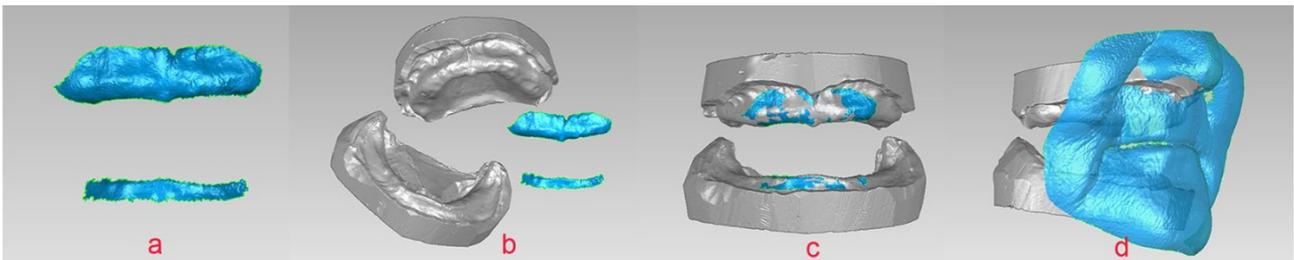


Figure 33 : Enregistrement de la RIM et fusion avec des modèles numériques⁽³⁵⁾

3.2.4.2.3. Résultats des études

Les praticiens utilisant cet outil observent une diminution des ajustements occlusaux et esthétiques nécessaires après livraison des prothèses.⁽³⁴⁾

La procédure est donc simplifiée par rapport à une technique conventionnelle, ce qui est plus confortable pour le patient et réduit le nombre de séances nécessaires. Une des limites, comme avec beaucoup de scanners, est l'impossibilité d'enregistrer l'effet « amortisseur » des tissus mous.^(35,36)

3.2.4.3. Le DENTAL PRO® – Bellus 3D®

3.2.4.3.1. Description

Il s'agit d'une application de Scanner facial 3D pour smartphone ou tablette, avec une interface possible sur ordinateur. En une dizaine de secondes on obtient le scan facial 3D du patient, qui va nous permettre d'aligner le sourire avec la ligne de la lèvre supérieure, avec des modèles numériques ou un CBCT. Le tout est exportable aux formats .STL, .OBJ ou .PLY vers de nombreux logiciels de conception (*ExoCad®*, *3Shape Dental System®*,...) chez le prothésiste ou au cabinet.⁽³⁷⁾

C'est un outil de communication avec le laboratoire, pas un outil motivationnel pour le patient.⁽³⁸⁾

3.2.4.3.2. Mise en œuvre

Le patient, souriant, tient la tablette ou le smartphone face à lui, puis il tourne la tête sur les cotés (1 fois à gauche, 1 fois à droite) en maintenant l'appareil fixe.

Dans l'interface logiciel, une fois les données fusionnées (avec les modèles numériques, le CBCT, des wax-up numériques, des fichiers mouvements *ModJaw*® ou autre,...), on va même pouvoir programmer un articulateur virtuel (que l'on peut régler virtuellement vu que nous avons enregistré les oreilles, le tragus,...). On peut donc presque recréer un patient virtuel exportable vers le laboratoire ou les logiciels de CFAO (*3Shape Dental System*®,...) pour aligner les restaurations avec la ligne du sourire et la lèvre supérieure.⁽³⁸⁾

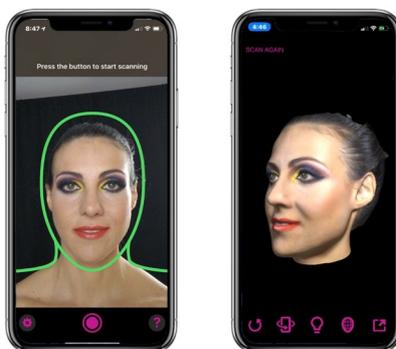


Figure 34 : Scan facial et résultat du scan⁽³⁷⁾



Figure 35 : Scan facial Bellus 3D® matché avec modèles numériques⁽³⁹⁾

3.2.4.3.3. Résultats des études

La limite, comme avec beaucoup de nouvelles technologies utilisées en dentisterie pour le moment, est la difficulté d'enregistrer et d'intégrer les tissus mous et leurs « mouvements ».^(38,39)

3.2.5. Les systèmes avec suivi de cible

3.2.5.1. Le Modjaw®

3.2.5.1.1. Description

Cet ensemble numérique permet le contrôle et l'analyse diagnostique de l'occlusion, qu'elle soit statique ou dynamique. Basé sur des technologies 3D et de capture de mouvements, il permet l'affichage en direct des mouvements limites (diductions, propulsion, rétrusion, ouverture, fermeture, OIM, ORC,...) et physiologiques (mastication,...) du patient ainsi que les trajets condyliens et du point inter-incisif. L'ensemble est composé d'un chariot avec ordinateur et écran tactile intégrés ainsi que d'une caméra infrarouge de très haute précision.^(40,41)

Le design du chariot est adapté aux cabinets dentaires. La caméra est montée sur un bras articulé, rendant facile son utilisation et son positionnement en face du patient. Le bras articulé s'abaisse et l'écran (de 21 pouces) se tourne pour un rangement facilité.⁽⁴²⁾

En plus du système en lui-même on a un stylet à bout rond, une fourchette (à positionner sur l'arcade mandibulaire avec de la résine bis-acryl) sur laquelle on fixe un « papillon » avec des capteurs, ainsi qu'une tiare avec capteurs.

On parle ici de dentisterie 4D permettant de faire s'animer (en fonction des mouvements et du temps) des modèles 3D. Le système est polyvalent (analyse → diagnostic → proposition thérapeutique) et s'adapte à toutes les reconstitutions possibles, de moyenne et grande étendue : Prothèse amovible partielle, Prothèse amovible complète, Prothèse fixe dento et implanto-portée, occlusodontie (diagnostic, traitements, gouttières,...).⁽⁴³⁾



Figure 36 : Chariot ModJaw® avec écran tactile et caméra infra-rouge⁽⁴²⁾



Figure 37 : Patiente avec la tiare et la fourchette/ « papillon » mandibulaire⁽⁴¹⁾

3.2.5.1.2. Mise en œuvre

Son utilisation va nécessiter l'enregistrement préalable des arcades dentaires du patient au format .STL (par empreinte numérique ou numérisation de modèles conventionnels).⁽⁴⁰⁾

Il faut marquer/faire se corréliser 5 points (qui soient reproductibles et singuliers) concaves (car le bout du stylet est rond) sur les modèles et sur le patient (2 à droite, 2 à gauche et 1 central). L'appareil doit être calibré avant utilisation : on met la tiare (avec ses capteurs) face à l'écran et on vient toucher un à un les capteurs avec le stylet. Ensuite on place la fourchette « para-occlusale » en bouche, on l'essaye en occlusion (elle ne doit pas gêner la fonction du patient) et on la fixe avec de la résine bis-acryl (elle sera fixée sur une maquette d'occlusion si le patient est édenté). Sur cette fourchette on clipse le « papillon » (avec capteurs) et on place la tiare sur la tête du patient. La caméra doit être à environ 80cm du patient (un voyant vert apparaît indiquant la bonne position de

la caméra).

Puis, avec le stylet on vient pointer les condyles droit et gauche, le point sous nasal et les 5 points concaves que l'on a définis préalablement.

Ensuite le logiciel nous propose les différents mouvements à réaliser. Tout enregistrement de mouvement débute en OIM, puis ils sont réalisés pendant 15 à 30 secondes chacun.

Une fois effectués, les mouvements peuvent être rejoués et analysés (via la vidéo et les diagrammes sur l'interface qui permettent même de calculer l'angle des pentes condyliennes, l'angle de Bennett,...). On va pouvoir observer les dents sous toutes leurs faces (vestibulaires, linguale/palatine, occlusale,...) pendant les mouvements.

L'envoi au laboratoire peut ne concerner que les zones d'intérêt, c'est à dire des parties de certains mouvements, des positions statiques,... ou alors l'ensemble de l'enregistrement *ModJaw*[®] du patient.

A partir de la dynamique du patient le logiciel peut « résumer » tous ces mouvements en un modèle fixe (via le principe du *FGP*) qui montrera toute « l'enveloppe » du mouvement au moment de la conception, ce qui permettra au laboratoire d'avoir un modèle physique.

Sur l'interface, un axiographe électronique va permettre la programmation d'articulateurs virtuels. On peut également augmenter la DV directement sur le logiciel.

Le système est totalement ouvert : on peut ainsi y intégrer des fichiers empreintes (.stl, .ply, .obj), des scans faciaux 3D, des données de Cone-Beam (fichiers .dicom), et faire coïncider le tout dans l'interface *ModJaw*[®], et recréer un avatar/un « patient virtuel ». Une fois les mouvements enregistrés il faut les transférer vers un logiciel d'articulateur virtuel (*ExoCad*[®] e.g.) et vers le laboratoire de prothèse. Quand toutes les données sont acquises on a de nouveaux modèles numériques appelés *ModeliJaw*.

Si le projet est validé par la phase transitoire (fonctionnellement et esthétiquement), il est possible de s'affranchir d'un nouvel enregistrement de l'occlusion (car déjà validé par le patient).⁽⁴³⁾



Figure 38 : Enregistrement avec ModJaw[®]⁽⁴³⁾

3.2.5.1.3. Résultats des études

Ce système va permettre d'optimiser l'intégration fonctionnelle et esthétique des reconstitutions (en superposant les projets fonctionnels et esthétiques avec les mouvements du patient).

Tout cela permet à terme un gain de temps, de précision, de confort pour le praticien, le patient, le prothésiste et l'assistant(e) ; c'est aussi un outil motivationnel et de communication envers le patient afin de lui faire comprendre et de montrer en temps réel ce qu'il se passe dans sa bouche.

Actuellement le transfert des fichiers mouvements .XMS ne peut se faire que via *ExoCad*®. Il est en revanche possible de transférer les informations sur les différentes positions mandibulaires vers d'autres articulateurs virtuels, mais avec moins de précision.

L'inconvénient principal de ce système est son coût important.

Une de ses limites, mais qui n'est pas un inconvénient, est que le système n'indique pas au praticien quelle position de référence choisir (OIM ? ORC ?), quelle augmentation de DV réaliser : le praticien reste le décideur, l'exécutant, et il devra s'assurer lui-même de la bonne intégration des restaurations avec les moyens conventionnels (papier à articuler, ressenti du patient,...). La courbe d'apprentissage peut sembler importante mais *ModJaw*® va aider et apporter plus de précision au praticien au quotidien.

L'avenir de ce genre de technologies est donc l'importation de fichiers mouvements .xml et des mouvements des tissus mous (enveloppe neuro-musculaire du patient et dépressibilité des tissus mous et parodontaux).⁽⁴³⁾

Les 3 caractéristiques principales de *ModJaw*® sont donc : une utilisation facile et ergonomique (15 minutes sont suffisantes pour enregistrer la dynamique mandibulaire complète du patient) ; un dispositif non invasif et léger, notamment en bouche ce qui permet de ne pas créer de biais dans l'analyse des mouvements ; la pertinence des informations récoltées et la facilité à les intégrer dans un flux de travail digital.⁽⁴¹⁾

3.2.5.2. Le SICAT FUNCTION® : Cerec Articulator et CBCT – Dentsply Sirona®

3.2.5.2.1. Description

C'est le premier outil de visualisation des mouvements mandibulaires intégré dans un appareil de radiographie.^(15,44)

Le logiciel permet une analyse 3D en temps réel des mouvements mandibulaires, intégré au flux de travail numérique. Il est utile pour le diagnostic des DAM (Dysfonctions de l'appareil manducateur), le suivi individuel des mouvements mandibulaires et le suivi des trajectoires de n'importe quel point sur la mandibule.⁽⁴⁵⁾

Il va permettre de coupler les données du CBCT à celles d'un capteur de mouvements ou arc facial électronique (ici le *SICAT JMT-system/JawMotionTracker system*® basé sur l'enregistrement ultrasonique des mouvements mandibulaires) pour évaluer l'occlusion, la dynamique mandibulaire et les ATM. Pour plus de précision le tout pourra également être couplé avec les empreintes numériques du patient.⁽¹⁵⁾

Le système *JMT*® comprend un arc facial, un capteur mandibulaire, un « porte-empreinte » (*SICAT Fusion*), un adaptateur pour le porte-empreinte, un attachement para-occlusal en « T », une unité de base *SICAT JMT*®, et le logiciel *SICAT JMT*®. L'arc facial contient six microphones ultrasonores qui reçoivent les informations des 4 transmetteurs ultra-sonores situés sur le capteur mandibulaire.⁽⁴⁶⁾

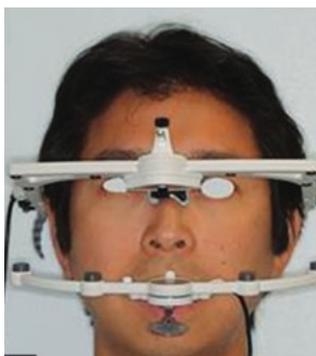


Figure 39 : Patient avec le système JMT®⁽⁴⁶⁾

3.2.5.2.2. Mise en œuvre

On réalise préalablement un CBCT, puis l'enregistrement intra-oral des arcades du patient avec un scanner intra-oral. Vient ensuite l'enregistrement des mouvements mandibulaires du patient avec le *JawMotionTracker* (*SICAT JMT+®*), qui offre la possibilité de visualiser et transférer les mouvements en 3D.⁽⁴⁵⁾

Le CBCT est réalisé avec une « gouttière »/un porte-empreinte (le *FusionBite Tray*) qui possède 8 points radio-opaques que l'on va pouvoir marquer dans les différentes coupes du CBCT afin de faire coïncider le Cone-beam et les données sur les mouvements. Un silicone est placé dans le *FusionBite Tray* coté maxillaire et mandibulaire, et il est demandé au patient de mordre et de garder le dispositif en bouche pendant le CBCT.

Ensuite le patient réalise les mouvements avec le *JawMotionTracker®*. Pour l'acquisition le *FusionBite* et l'attachement para-occlusal sont placés en bouche (patient en OIM). Le capteur maxillaire/l'arc facial est positionné sur la tête du patient (le bandeau au niveau du nasion). Le logiciel est lancé, le capteur mandibulaire est positionné sur le *FusionBite* pour une procédure de calibration (afin d'avoir la position du maxillaire et de la mandibule par rapport au crâne). Ensuite le *FusionBite* est retiré et le capteur mandibulaire est fixé à l'attachement para-occlusal. Le patient peut alors commencer les différents mouvements (ouverture/fermeture, OIM, latéralités, protrusion/rétrusion et le cycle masticatoire). On fait s'accorder 3 points de référence sur le CBCT et les modèles numériques puis le tout, avec les mouvements du *JMT+®*, va faire s'animer les modèles selon la dynamique du patient. On va pouvoir pointer et suivre la trajectoire de points particuliers (ex : point inter-incisif,...) pendant certains mouvements (ex : suivi des points condyliens pendant le mouvement d'ouverture/fermeture).^(15,46,47)

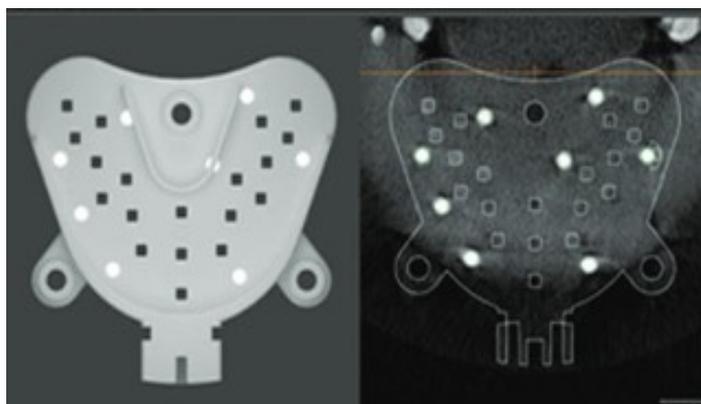


Figure 40 : Les points radio-opaques sont marqués sur le CBCT⁽⁴⁶⁾

3.2.5.2.3. Résultats des études

Le principal avantage de ce système est d'inclure la dynamique du patient dans une analyse globale et non purement dento-dentaire. La production d'images 3D apporte une nouvelle dimension à la précision du diagnostic, et permet d'analyser le comportement des dents pendant l'occlusion statique, dynamique et les mouvements fonctionnels. L'apport du CBCT est prometteur dans la visualisation des tissus durs avec une dose de radiation relativement basse.⁽¹⁵⁾

Pour ce qui est du diagnostic des DAM : le disque articulaire des ATM n'est pas visible sur les coupes du CBCT (la technique ne montrant pas les tissus mous), mais il est possible de voir l'espacement entre le condyle et la fosse (si l'espace est tout petit on peut imaginer que le disque est trop écrasé ou disloqué).⁽⁴⁷⁾

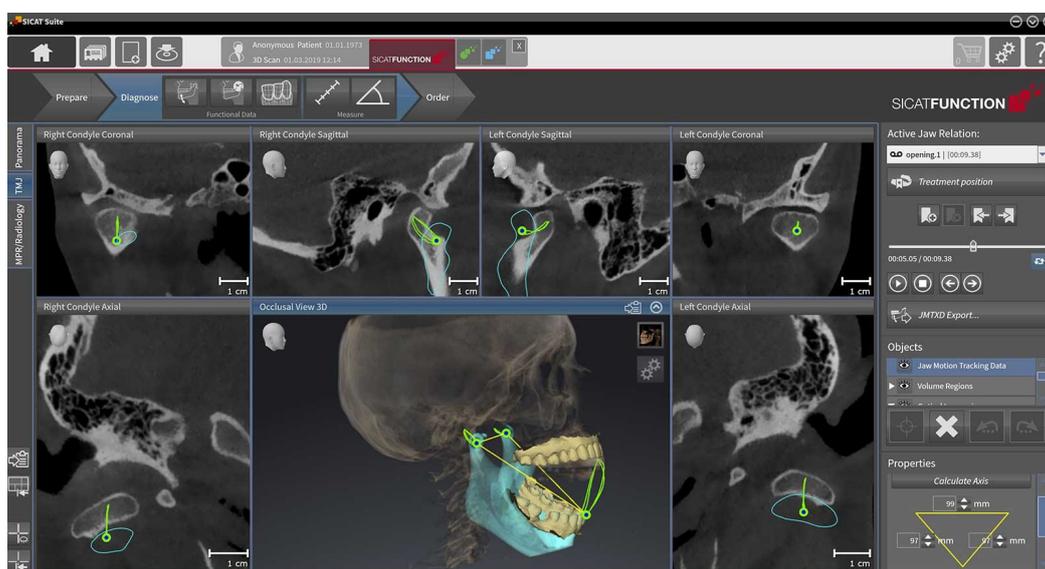


Figure 41 : Visualisation de la dynamique et suivi de points pendant les mouvements, une fois toutes les données fusionnées sur l'interface du logiciel⁽⁴⁶⁾

3.2.5.3. Le 4D JawMotion® – PlanMeca®

3.2.5.3.1. Description

Cet outil est directement intégré au CBCT pour traquer, enregistrer et analyser les mouvements mandibulaires en temps réel. Le logiciel permet de rejouer et d'analyser ces mouvements à l'infini. La fonction caméra intégrée *ProFace* de l'appareil CBCT permet l'enregistrement de la dynamique mandibulaire.⁽⁴⁸⁾



Figure 42 : Enregistrement du CBCT avec le système de suivi placé sur le patient⁽⁴⁸⁾

3.2.5.3.2. Mise en œuvre

Des modèles numériques sont préalablement réalisés. Une « fourchette » (avec les cibles à suivre) est placée grâce à de la résine sur la face vestibulaire des incisives mandibulaires (donc sans interférer avec l'occlusion). Le CBCT est réalisé avec ce système en place sur le patient. On fait correspondre les cibles sur l'interface logiciel pour calibrer, ainsi qu'avec les modèles numériques. Le patient réalise alors les différents mouvements, et on va voir son « avatar » s'animer en direct sur le logiciel. Les différents mouvements sont rejouables pour les analyser ainsi que suivre certains points d'intérêt. Le tout peut bien-sûr être exporté vers des articulateurs virtuels et logiciels tiers pour la réalisation de restaurations (*ExoCad*® e.g.).^(48,49)

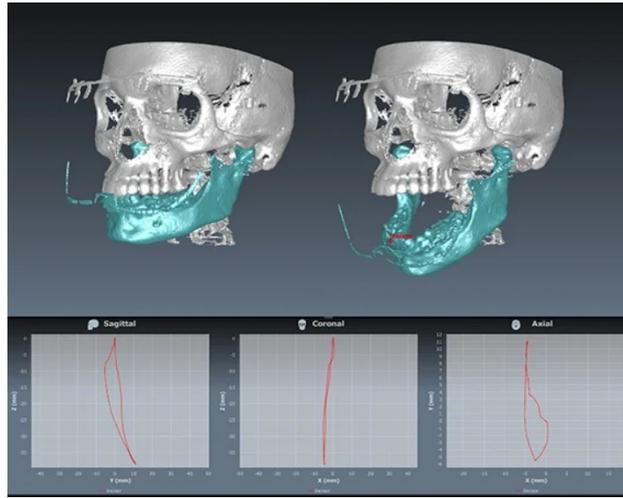


Figure 43 : Suivi de points et analyse des mouvements sur le logiciel⁽⁴⁹⁾

3.2.6. Les systèmes intégrés à un scanner intra-oral

3.2.6.1. Le Patient Specific Motion® (PSM) – 3Shape®

3.2.6.1.1. Description

C'est le nouveau mode du scanner intra-oral *Trios®* (disponible à partir de la *Trios® 3*) de chez *3Shape®*, directement intégré dans le scanner (pas besoin de matériel supplémentaire) et qui permet d'enregistrer l'occlusion du patient.^(50,51)

3.2.6.1.2. Mise en œuvre

Après un enregistrement complet des arcades, l'activation du mode « *motion* » permet l'enregistrement de l'occlusion statique (toujours en premier) puis dynamique où le patient va effectuer les diductions droite et gauche puis éventuellement des mouvements de propulsion.⁽⁵⁰⁾

Sur l'interface avec les arcades du patient une fenêtre bleue va indiquer l'endroit où les mouvements peuvent être enregistrés. Pendant l'enregistrement des codes couleurs vert et rouge

permettent au praticien de contrôler les informations captées (au niveau des mouvements et des contacts occlusaux).⁽⁵¹⁾

Il est ensuite possible d'avoir des vues vestibulaire, linguale/palatine et occlusale (avec affichage des points de contact et des trajets sur les tables occlusales en statique et en dynamique). On va ensuite pouvoir le visualiser et le rejouer autant de fois que l'on veut.⁽⁵⁰⁾

Cet enregistrement peut donc servir pour réaliser un ajustement occlusal, ensuite découper sur le modèle virtuel la partie qui a été modifiée, et la re-scanner après modifications pour voir si d'autres interférences apparaissent. Une fois envoyés au prothésiste, les paramètres d'occlusion dynamique enregistrés via le « *Patient Specific Motion®* » permettent une modélisation directe de l'occlusion de la restauration (sur le logiciel *3Shape Dental System®*). La restauration est placée en bouche, et un contrôle est réalisé après plusieurs semaines/mois afin de valider l'occlusion de cette nouvelle restauration. Un nouvel enregistrement avec le *PSM®* peut être effectué pour valider les contacts occlusaux.⁽⁵²⁾

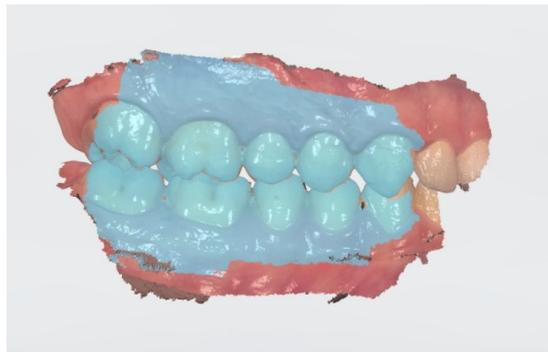


Figure 44 : Le PSM® indique la zone ou l'enregistrement peut être effectué⁽⁵¹⁾



Figure 45 : Enregistrement de la dynamique⁽⁵¹⁾



Figure 46 : Visualisation des contacts occlusaux en statique et en dynamique⁽⁵²⁾

3.2.6.1.3. Résultats des études

Pour une reconstruction plus précise de l'occlusion on utilise le principe du *FGP* qui implique l'enregistrement et la « synthèse » de tous les déplacements mandibulaires pendant les mouvements fonctionnels (3D), et il en résulte un modèle (digital ou analogique). Cela rend la procédure clinique plus chronophage et plus compliquée à mettre en oeuvre, mais avec les avancées en termes de CFAO et de scanners intra-oraux, le flux de travail numérique tend à se démocratiser et rend les résultats plus sûrs et prédictibles. Récemment de nouvelles études, basées sur le « *mandibular motion tracking* », ont mis en avant des systèmes d'enregistrement optiques pour intégrer les mouvements fonctionnels individuels du patient. La plupart nécessitent des capteurs à placer sur le patient, ce qui n'est pas le cas du *PSM*®, ce qui réduit donc les temps au fauteuil et la courbe d'apprentissage qui est moins longue. De plus avec ce système on ne risque pas d'interférer avec l'occlusion du patient en introduisant quelque chose en bouche.⁽⁵³⁾

Il est donc désormais possible d'objectiver des interférences et prématurités impossibles à voir (sauf sur un montage en articulateur) en utilisant par exemple du papier à articuler.⁽⁵⁰⁾

Les couronnes fabriquées à partir d'un flux de travail digital utilisant le *PSM*® semblent présenter une meilleure adaptation marginale, de meilleurs contacts proximaux et occlusaux ainsi qu'une meilleure morphologie.

Il a été montré dans ces études que la morphologie de la restauration qui se rapprochait le plus de la dent originale était reproduite grâce au *PSM*® (par rapport à un enregistrement de l'occlusion statique seule ou sur un articulateur virtuel semi-programmable).⁽⁵⁴⁾

Valenti et Schmitz⁽⁵⁵⁾ ont décrit le processus clinique pour concevoir une restauration avec le *PSM*®, mais n'ont pas évalué la précision de ces restaurations. Lee et Al⁽⁵³⁾ ont rapporté qu'avec le *PSM*® une couronne unitaire postérieure nécessitait moins de retouches occlusales en bouche comparé à une couronne fabriquée à partir de l'enregistrement de l'occlusion statique seule. Cette étude clinique a analysé la capacité du *PSM*® pour concevoir et adapter la morphologie d'une couronne en fonction de l'occlusion statique et dynamique.

L'avantage du flux de travail inversé et du *PSM*® est donc qu'on peut y inclure les informations sur les restaurations provisoires et l'occlusion dynamique et statique, qui auront été testées et approuvées par le patient d'un point de vue esthétique et fonctionnel. L'intégration parodontale de la restauration provisoire pourra être transmise au laboratoire pour la réalisation de la restauration d'usage.⁽⁵⁵⁾

Ce système permet donc non seulement de visualiser les mouvements mandibulaires mais aussi d'ajuster les potentielles erreurs d'occlusion/les interférences au moment du design des restaurations dans les logiciels de CAO, bien qu'il y ait peu de littérature sur ce système pour le moment.

Il n'existe pas encore de preuves irréfutables de son efficacité sur la réduction du nombre d'ajustements occlusaux par rapport à l'enregistrement de l'occlusion statique seule ou à l'utilisation d'un articulateur mécanique ou virtuel. Pourtant, une tendance semble se dégager chez les utilisateurs de ce système : les erreurs occlusales en OIM/ORC et pendant les mouvements excentriques sont moins nombreuses en utilisant le *PSM*®. On peut donc supposer que les mouvements mandibulaires simulés contribuent à réduire les erreurs occlusales, même si il n'y a pas de supériorité statistiquement significative et peu de littérature sur le sujet. Comme n'importe quel scanner intra-oral, l'outil *PSM*® ne permet pas d'enregistrer les « mouvements » du parodonte (dépressibilité des tissus) et les forces musculaires en jeu.

Une autre des limites des scanners intra-oraux est l'effet « *Judder* » (ou effet de saccade) qui va être fonction de la taille de l'embout de la caméra, de la vitesse de scan, de la fréquence d'enregistrement (mouvements du patient trop rapides pour la fréquence de l'appareil). Ici cet effet sera amplifié du fait que c'est une technique sans marqueurs/sans cibles.⁽⁵³⁾

Le principe du *PSM*® n'a pas été dévoilé par le fabricant, mais on sait que les modèles sont alignés en utilisant des points sur la surface vestibulaire d'environ 3 dents pendant l'enregistrement,

ce qui peut amener à des erreurs car en effet cela ne prend pas en compte les déplacements physiologiques des dents et des tissus environnants quand une force occlusale intervient.

Une de ses limites est l'enregistrement pour des patients qui présentent des chevauchements importants, horizontalement et verticalement. Une autre limite est qu'il ne peut pas détecter toutes les interférences, car il ne prend en compte que les mouvements d'excursion (latérotusion et protrusion) et non tous les mouvements fonctionnels (mastication,...).⁽⁵⁴⁾

3.2.7. Les logiciels de CFAO

3.2.7.1. Les articulateurs virtuels

3.2.7.1.1. Description

Ils ont été décrits depuis les années 90 avant d'être réellement présentés en Allemagne en 2002 (*DentCam*® de la société *Kavo*®). Depuis ils ont été totalement intégrés aux logiciels de CFAO.⁽⁵⁶⁾

Ce sont des simulateurs d'articulateurs mécaniques mais basés sur la réalité virtuelle, ce qui diminue considérablement les limites que l'on peut avoir avec un articulateur mécanique, tout en ayant la possibilité d'y intégrer les données du patient. Sans données sur les mouvements propres au patient, le réglage peut se faire avec les mêmes paramètres qu'un articulateur mécanique (angle de Bennett, amplitudes en ouverture/fermeture, amplitudes en latérotusion/protrusion/rétrusion, pentes condyliennes).

Il existe 2 types d'articulateurs virtuels : ceux complètement programmables (avec les données numériques propres au patient le logiciel va générer l'occlusion statique et dynamique) et les articulateurs virtuels simulés mathématiquement (qui reproduisent les mouvements en se basant sur une simulation mathématique des mouvements, n'apportant qu'une approximation des positions mandibulaires via des valeurs normées et ne permettant pas d'avoir les trajectoires spécifiques à un patient).^(30,54)

3.2.7.1.2. Mise en œuvre

La procédure de montage est équivalente à celle d'un articulateur mécanique, mais avec des étapes numériques.

Premièrement il faut numériser les arcades (par scanner intra-oral ou digitalisation de modèles conventionnels). Deuxièmement il faut enregistrer les mouvements du patient (grâce à un arc facial électronique/JMA, un système de suivi, un système intégré à un scanner intra-oral ou en rentrant nous-mêmes des valeurs normées si on ne possède pas ces outils). Troisièmement il faut transférer ces données par rapport à la base du crâne du patient (cf ^(23,36)). Pour finir il faut faire correspondre toutes les données dans un logiciel tiers (Cf *ExoCad*®) pour avoir le « montage » virtuel des modèles.^(30,56)

3.2.7.1.3. Résultats des études

Ces articulateurs virtuels permettent un diagnostic individualisé et d'éviter certaines limites de l'articulateur mécanique comme la création de faux contacts occlusaux, la déformation des matériaux, les erreurs de positionnement des modèles et les difficultés à vraiment simuler les mouvements du patient en 3D. Tamaki et Al⁽⁵⁷⁾ reportent que seulement 82% des contacts étaient reproduits en protrusion et 90% en latéralités sur un articulateur mécanique par rapport aux contacts réels en bouche. Il génère donc des contacts qui n'existent pas dans la bouche du patient.^(16,56)

L'articulateur virtuel peut plus facilement prendre en compte les « mouvements » et la dépressibilité des tissus de soutien des dents (car intégré dans son algorithme), ce que ne fait pas un articulateur mécanique car c'est une structure « rigide » avec des modèles positifs en matériaux « durs ».

Il permet une meilleure communication entre le dentiste et son patient (outil pédagogique), et entre le dentiste et le prothésiste. La simulation à partir de données propres au patient permet une analyse de l'occlusion statique et dynamique et une analyse possible des ATM. Il apporte la possibilité de « naviguer » dans un environnement 3D et de visualiser les mouvements dans tous les plans de l'espace.

Cette technologie est plus onéreuse si l'on additionne le coût du logiciel, des différents outils nécessaires : capteurs, arc faciaux,.... Tous les articulateurs virtuels ne sont pas non plus adaptés à tous les cas cliniques : ceux complètement programmables sont utiles pour les cas complexes où le

plan d'occlusion et la DVO doivent être réévalués alors que ceux mathématiquement simulés sont réservés pour les cas où reproduire la relation maxillo-mandibulaire est suffisante pour créer la morphologie occlusale des restaurations, ils sont cependant moins onéreux et plus faciles d'utilisation.

Comme avec n'importe quelle nouvelle technologie, un temps d'apprentissage et d'acquisition des connaissances est nécessaire. De plus il faut pouvoir intégrer la CAO et/ou la FAO dans le flux de travail du cabinet.^(30,56)

3.2.7.2. EXOCAD®

3.2.7.2.1. Description

Il s'agit d'un logiciel d'articulateur virtuel pour de la CAO.⁽⁵⁸⁾



Figure 47 : Module articulateur virtuel d'ExoCad®⁽⁵⁹⁾

3.2.7.2.2. Mise en œuvre

On y importe les données sur les arcades et les mouvements du patient enregistrés par des moyens externes (*JMA*, *ModJaw*®,...) ou par des réglages que l'on va rentrer manuellement (pentes condyliennes, angle de Bennett,...).^(58,59)

L'interface du logiciel va donc permettre de fusionner les données issues de différents enregistrements (mouvements, *smile design* avec wax-up numérique que l'on va pouvoir tester digitalement avec les données du patient, Cone beam,...).⁽⁶⁰⁾

Il existe un mode *ExoCad Chairside*® pour une utilisation en cabinet. A partir des fichiers ouverts (par exemple issus du scanner intra-oral), la conception des restaurations (couronnes provisoires, onlays, couronnes,...) est réalisable au cabinet.⁽⁶¹⁾

3.2.7.2.3. Résultats des études

Davantage d'études cliniques sont nécessaires pour obtenir des résultats fiables sur le flux de travail digital comparé au flux de travail conventionnel, notamment dans des cas complexes, avec un suivi sur long-terme.⁽⁶⁰⁾

3.2.7.3. PRACTICE LAB® – CAO 3Shape®

3.2.7.3.1. Description

C'est le logiciel de CAO de *3Shape*®. Il trouve son intérêt pour la CAO d'éléments prothétiques unitaires simples : couronnes unitaires, inlays/onlays, facettes et bridges de 3 éléments, après empreinte numérique avec la caméra *Trios*®.⁽⁶²⁾

3.2.7.3.2. Mise en œuvre

Sa fonction d'articulateur virtuel est un avatar d'articulateur mécanique. Il n'existe donc pas d'arc facial qui permette de positionner le modèle maxillaire par rapport à la base du crâne. Le modèle maxillaire est donc positionné selon des normes (les pentes condyliennes, l'angle de Bennett,... qui ne sont pas réglables), et non via un enregistrement sur le patient. Il s'avère surtout utile si le patient possède un calage postérieur, parce qu'il pourra alors simuler certains mouvements et les points/zone de contacts qui en résultent et qui pourront être corrigés. Le tout est exportable vers une usineuse au cabinet (pour des cas simples) ou vers le laboratoire de prothèse.⁽⁶²⁾



Figure 48 : Interface de l'articulateur virtuel PracticeLab®⁽⁶²⁾



Figure 49 : Visualisation des contacts générés par le logiciel⁽⁶²⁾

3.3. DISCUSSION

Les bénéfices cliniques du flux de travail numérique se traduisent par des temps réduits au fauteuil et au laboratoire, des étapes de production facilitées (réduisant les erreurs humaines possibles), l'amélioration de la précision des limites et de l'ajustement au niveau de l'intrados des restaurations, le transfert et le stockage électronique des fichiers, la réduction des coûts humains, la meilleure satisfaction du patient avec un inconfort réduit (par comparaison avec les empreintes conventionnelles), et la possibilité, en fonction de son équipement au cabinet, de réaliser directement les restaurations.

Bien que l'expérience du praticien joue sur le rendu final, le temps total de fabrication est

deux fois plus rapide, la restauration est mieux adaptée avec un flux de travail digital (au niveau des limites marginales qui sont plus précises, des contacts proximaux et occlusaux ainsi que de la morphologie coronaire de la restauration qui est plus adaptée). Cependant seule la comparaison des paramètres occlusaux montre une différence réellement significative pour une restauration réalisée numériquement par rapport à une restauration réalisée conventionnellement. Depuis que les scanners intra-oraux sont combinés avec les technologies de CFAO, le flux de travail numérique semble être un outil plus efficace et précis dans la fabrication de restaurations fixes, apportant de meilleurs résultats dans un temps plus court.⁽⁶³⁾

Des erreurs peuvent cependant apparaître à cause de la technique de scannage et de la superposition des images, qui sont opérateur dépendantes. Les erreurs peuvent aussi venir de la manière dont le patient va réaliser les différentes excursions mandibulaires guidées par le praticien et sa manière d'être en occlusion, ce qui peut mener à des superpositions incorrectes. Une autre limite des scanners intra-oraux est l'impossibilité de mesurer réellement l'intensité des contacts occlusaux.

Bien que couramment utilisée, l'analyse occlusale classique n'offre pas toutes les informations nécessaires à un bon ajustement occlusal. Les scanners intra-oraux apportent globalement les mêmes informations qu'une analyse clinique.⁽²²⁾

Certains logiciels d'empreintes 3D peuvent montrer les zones de contacts occlusaux, en mettant en évidence les différentes distances et forces inter-occlusales en les teintant de différentes couleurs. Les études montrent que l'empreinte optique (avec *3Shape Trios®* e.g) n'est pas l'outil le plus fiable pour évaluer les zones de contacts occlusaux, en effet les modèles virtuels sont plus sujets à la « perforation » pendant l'enregistrement (corrigés plus tard pendant la reconstruction 3D mais affectant la mesure précise de ces aires de contacts occlusaux). Bien que la résolution des scanners intra-oraux soit élevée, l'algorithme utilisé par le logiciel de reconstruction 3D ne prend pas en compte la dépressibilité des tissus parodontaux qui jouent le rôle « d'amortisseurs » au moment de l'occlusion (donc la force occlusale avec un scanner intra-oral aura tendance à être surévaluée).⁽²⁴⁾

Les « limites » du flux de travail digital sont, notamment pour le praticien, le coût du scanner intra-oral et des équipements annexes, la courbe d'apprentissage relative aux nouvelles technologies, et le besoin de formation continue pour se tenir en permanence à jour, les technologies évoluant très vite.⁽⁶³⁾

4. TABLEAUX COMPARATIFS

| | Papier à articuler | Papier métallique | Indicateur p.d.c. | Spray | Élastomères | Cires | Bases | Articulateur mécanique |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------|-------|-------|------------------------|
| Interférence avec l'occlusion | + | + | -- | -- | ++ | ++ | ++ | - |
| Facilité d'utilisation | ++ | ++ | + | + | + | + | - | - |
| Facilité d'interprétation | - | - | ++ | ++ | + | - | - | + |
| Outil motivationnel | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - | - |
| Perte d'information (per et post enregistrement) | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | ++ |
| Résistance en bouche | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - |
| Répétabilité | -- | -- | -- | -- | -- | - | - | - |
| Mesure de la force des contacts | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Évaluation des prématurités | -- | -- | -- | -- | -- | - | - | + |
| Précision | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - |
| Simulation de la mastication | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - |
| Coût | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| Courbe d'apprentissage | - | - | -- | -- | - | - | - | - |
| Adaptabilité au patient | - | - | -- | -- | ++ | ++ | ++ | + |
| Compliance du patient | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | - | ++ |
| Temps initial de mise en œuvre court | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | - | -- |
| Temps gagné sur la procédure | + | + | + | + | + | - | -- | - |
| Diagnostic ATM/DAM possible | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - |
| Enregistrement de la dépressibilité tissulaire | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - | - |

Tableau 1 : comparaison des moyens conventionnels

| | Photo-occlusion | T-SCAN | Accura | K7x | ARCLUS | JMA | RexGan | SpaceSpider | Bellus | MbcLaw | Skat | 4D Motion | PSM | Articulateur virtuel | EvoCad | PracticeLab |
|--|-----------------|--------|--------|-----|--------|-----|--------|-------------|--------|--------|------|-----------|-----|----------------------|--------|-------------|
| Interférence avec l'occlusion | ++ | ++ | ++ | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | - | -- | -- | -- | -- | -- |
| Facilité d'utilisation | -- | - | - | - | - | - | - | - | - | + | + | + | ++ | + | + | + |
| Facilité d'interprétation | -- | + | + | - | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + |
| Outil motivationnel | -- | - | - | - | - | - | - | - | -- | ++ | + | + | + | + | -- | -- |
| Perte d'information (per et post) | ++ | ++ | ++ | -- | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | -- | -- | -- | -- | - | - | - |
| Résistance en bouche | -- | - | - | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| Répetabilité | -- | + | + | + | ++ | ++ | + | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + |
| Mesure de la force des contacts | - | ++ | ++ | + | + | + | -- | -- | -- | + | + | + | + | - | - | - |
| Évaluation des prématurités | + | ++ | ++ | ++ | + | + | -- | -- | -- | + | + | + | + | + | + | + |
| Précision | -- | + | + | ++ | ++ | ++ | + | + | + | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + |
| Simulation de la mastication | -- | -- | -- | ++ | ++ | ++ | - | - | - | ++ | ++ | ++ | - | - | - | - |
| Coût | - | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | - | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + |
| Courbe d'apprentissage | + | + | + | + | ++ | ++ | + | + | + | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + |
| Adaptabilité au patient | -- | - | - | + | + | + | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + |
| Compliance du patient | - | + | + | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + | + | ++ | ++ | ++ |
| Temps initial de mise en œuvre court | -- | - | - | -- | -- | -- | - | - | + | -- | -- | -- | - | - | - | - |
| Temps gagné sur la procédure | -- | - | - | + | + | + | + | + | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ | + | + | + |
| Diagnostic ATMDAM possible | -- | -- | -- | ++ | + | + | -- | -- | -- | ++ | ++ | ++ | - | - | -- | -- |
| Enregistrement de la dépressibilité tissulaire | -- | - | - | - | - | - | - | - | -- | - | - | - | - | - | -- | -- |

Tableau 2 : comparaison des moyens numériques

| | |
|----|----------------------|
| ++ | Très concerné |
| + | Concerné |
| - | Peu concerné |
| -- | Pas du tout concerné |

CONCLUSION

L'apport des nouvelles technologies dans l'enregistrement dynamique de l'occlusion est réel, notamment en matière de gain de temps, de précision, de reproductibilité et de confort pour le patient. L'équipement des cabinets dentaires avec ces nouveaux outils semble se démocratiser. Mais il ne faut pas oublier que le praticien est avant tout un clinicien qui traite un patient, avec ses attentes et ressentis qui lui sont propres.

Ces technologies, correctement utilisées, sont une aide pour réaliser les meilleurs traitements, mais c'est avant tout l'expérience clinique du praticien qui primera, en s'appuyant sur ces différents outils (conventionnels ou numériques) utilisés conjointement.

Cependant, de nouvelles études, peut-être plus « cliniques », seront nécessaires pour évaluer sur le long terme la fiabilité de ces nouveaux outils, ainsi que pour les améliorer (notamment en matière d'enregistrement des tissus mous et de leur dynamique).

BIBLIOGRAPHIE

1. Orthlieb J-D. Occlusodontie pratique. In: CdP. 2006. p. 1-49. (JPIO).
2. Fonction et dysfonction des articulations temporo-mandibulaires | Bùcco [Internet]. Bùcco Orthodontie, par vos orthodontistes. [cité 24 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.orthodontisteenligne.com/fonction-dysfonction-atms/>
3. Afrashtefhar K, Qadeer S. Computerized occlusal analysis as an alternative occlusal indicator. *Cranio J Craniomandib Pract.* Janv 2016;34:52-57.
4. Sharma A, Rahul GR, Poduval ST, Shetty K, Gupta B, Rajora V. History of materials used for recording static and dynamic occlusal contact marks: a literature review. *J Clin Exp Dent.* Févr 2013;5(1):48-53.
5. Majithia IP, Arora V, Anil Kumar S, Saxena V, Mittal M. Comparison of articulating paper markings and T Scan III recordings to evaluate occlusal force in normal and rehabilitated maxillofacial trauma patients. *Med J Armed Forces India.* Déc 2015;71(Suppl 2):382-388.
6. Bausch - Moyens de contrôle de l'articulé et de l'occlusion. PDF. <https://docplayer.fr/8123496-Moyens-de-contrôle-de-l-articulé-et-de-l-occlusion.html>
7. Qadeer S, Kerstein R, Kim RJY, Huh JB, Shin SW. Relationship between articulation paper mark size and percentage of force measured with computerized occlusal analysis. *J Adv Prosthodont.* Févr 2012;4(1):7-12.
8. Brizuela-Velasco A, Álvarez-Arenal Á, Ellakuria-Echevarria J, del Río-Highsmith J, Santamaría-Arrieta G, Martín-Blanco N. Influence of Articulating Paper Thickness on Occlusal Contacts Registration: A Preliminary Report. *Int J Prosthodont.* Juill 2015;28(4):360-362.
9. Shetty G, Shetty M. A Review of Occlusal Registration Materials Utilized in Recording Various Occlusal Relations. *J Health Allied Sci NU.* Sept 2018;08:25-28.
10. Carlier J-F. L'enregistrement de l'occlusion en fonction de la difficulté prothétique. *ROS.* 2015; Tome 44 n°2:83-95.
11. Esclassan R, Esclassan-Noirrit E, Lacoste-Ferré MH, Guyonnet JJ. Prothèse adjointe partielle : occlusion, choix et montage des dents. *Polymérisation des bases. EMC - Dent.* Févr 2004;1(1):2-24.
12. Chandu GS, Khan MohdF, Mishra SK, Asnani P. Evaluation and Comparison of Resistance to Compression of Various Interocclusal Recording Media: An In Vitro Study. *J Int Oral Health JIOH.* Mai 2015;7(5):24-29.
13. Fajri L, Berrada S, Merzouk N. L'articulateur dans l'étude pré-prothétique en Prothèse amovible

- partielle – Partie 1. Actual Odonto-Stomatol. Mai 2016;(276):4.
- 14.Bert M. Apport de l'articulateur en dentisterie. Actual Odonto-Stomatol. Mai 2016;(276):3.
- 15.Aslanidou K, Kau CH, Vlachos C, Saleh TA. The fabrication of a customized occlusal splint based on the merging of dynamic jaw tracking records, cone beam computed tomography, and CAD-CAM digital impression. J Orthod Sci. 2017;6(3):104-109.
- 16.Maestre-Ferrín L, Romero-Millán J, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: An update. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. Janv 2012;17(1):160-163.
- 17.Tordiglione L, De Franco M, Bosetti G. The Prosthetic Workflow in the Digital Era. Int J Dent [Internet]. 2016 [cité 11 nov 2020];2016. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5088314/>
- 18.F.S. Meyer. The generated path technique in reconstruction dentistry: Part II. Fixed partial dentures. J Prosthet Dent. 1959;432-440.
- 19.Jeong MY, Lim YJ, Kim MJ, Kwon HB. Comparison of two computerized occlusal analysis systems for indicating occlusal contacts. J Adv Prosthodont. Avr 2020;12(2):49-54.
- 20.Système d'analyse de l'occlusion T-Scan® Novus™ - Tekscan | [Internet]. Mescan. [cité 1 févr 2022]. Disponible sur: <https://www.mescan.com/prod/t-scan-novus>
- 21.Bozhkova TP. The T-SCAN System in Evaluating Occlusal Contacts. Folia Med (Plovdiv). Juin 2016;58(2):122-130.
- 22.Buduru S, Mesaros A, Talmaceanu D, Baru O, Ghiurca R, Cosgarea R. Occlusion in the digital era: a report on 3 cases. Med Pharm Rep. Déc 2019;92(Suppl No 3):78-84.
- 23.Solaberrieta E, Etxaniz O, Otegi JR, Brizuela A, Pradies G. Customized procedure to display T-Scan occlusal contacts. J Prosthet Dent. Janv 2017;117(1):18-21.
- 24.Ayuso-Montero R, Mariano-Hernandez Y, Khoury-Ribas L, Rovira-Lastra B, Willaert E, Martinez-Gomis J. Reliability and Validity of T-scan and 3D Intraoral Scanning for Measuring the Occlusal Contact Area. J Prosthodont. 2020;29(1):19-25.
- 25.Digitalbuyersguide. Digital Occlusal Analysis System [Internet]. Korean-Electronics.com. 2018 [cité 3 janv 2022]. Disponible sur: <https://korean-electronics.com/2018/11/08/digital-occlusal-analysis-system/>
- 26.K7x EVALUATION SYSTEM [Internet]. Myotronics. [cité 4 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.myotronics.com/k7x>
- 27.Kim JE, Park JH, Moon HS, Shim JS. Complete assessment of occlusal dynamics and establishment of a digital workflow by using target tracking with a three-dimensional facial scanner.

J Prosthodont Res. Janv 2019;63(1):120-124.

28.ARCUSdigma™ [Internet]. KaVo Dental. 2017 [cité 4 janv 2022]. Disponible sur: <https://www.kavo.com/fr-fr/laboratoires-dentaires/arcusdigma-articulation>

29. Analyser l'occlusion avec des méthodes numériques : observer les mouvements des dents et des mâchoires sous un jour nouveau [Internet]. [cité 9 déc 2021]. Disponible sur: <https://blog.ivoclarvivadent.com/dentist/fr/analyser-locclusion-avec-des-méthodes-numériques-observer-les-mouvements-des-dents-et-des-mâchoires-sous-un-jour-nouveau>

30.Koralakunte PR, Aljanakh M. The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. J Clin Diagn Res. Juill 2014;8(7):25-28.

31.Li Q, Bi M, Yang K, Liu W. The creation of a virtual dental patient with dynamic occlusion and its application in esthetic dentistry. J Prosthet Dent. Juill 2021;126(1):14-18.

32.Solutionix Rexcan CS2+ review - Scanner 3D [Internet]. Aniwaa. [cité 28 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.aniwaa.fr/produit/scanners-3d/solutionix-rexcan-cs2/>

33. Scanner 3D Industriel | Space Spider | Scan 3D en Haute Résolution [Internet]. Solutions de scan professionnelles | Artec3D. [cité 28 juill 2022]. Disponible sur: <https://www.artec3d.com/fr/portable-3d-scanners/artec-spider>

34.Artec Space Spider redonne le sourire aux patients portant des implants dentaires [Internet]. Solutions de scan professionnelles | Artec3D. [cité 14 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.artec3d.com/fr/cases/dental-implants>

35.Li W, Xie Q, Wang Y, Sun Y. A pilot study of digital recording of edentulous jaw relations using a handheld scanner and specially designed headgear. Sci Rep [Internet]. 12 juin 2018 [cité 25 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5997633/>

36.Solaberrieta E, Otegi JR, Goicoechea N, Brizuela A, Pradies G. Comparison of a conventional and virtual occlusal record. J Prosthet Dent. Juill 2015;114(1):92-97.

37.Bellus3D Dental: Realistic 3D face scanning for dental applications [Internet]. Bellus3D: High-quality 3D face scanning. [cité 17 mars 2022]. Disponible sur: <http://www.bellus3d.com/dental>

38.Olivier Boujenah: Utilisation du Face Scan Bellus Dental Pro [Internet]. 2020 [cité 17 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=jiWL4XVOjvA>

39.Des restaurations créées en fonction du visage grâce à 3Shape et l'intégration de Bellus3D – Actualités 3Shape [Internet]. 3Shape. [cité 17 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.3shape.com/fr/news/2020/facial-driven-restorations-with-3shape-and-bellus3d-integration>

40.ModJaw [Internet]. Prothèses. 2017 [cité 11 nov 2020]. Disponible sur:

<https://www.idweblogs.com/cfao/modjaw/>

41. Felenc S. Esthetic & Function: The 4D Solution A Clinical Evaluation. Mod Approaches Dent Oral Health Care [Internet]. 15 mai 2018 [cité 7 déc 2021]. Disponible sur: <http://www.lupinepublishers.com/dental-and-oral-health-journal/fulltext/esthetic-function-the-4d-solution-a-clinical-evaluation.ID.000137.php>

42. ModJawConcept [Internet]. [cité 12 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.modjaw.com/fr/a-propos.html>

43. Modjaw La Revolution Numerique - 4D CAD/CAM [Internet]. 2017 [cité 11 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=Qa6s5m3WKn0>

44. Temporomandibular joint disorder (TMJD) treatment software | Dentsply Sirona [Internet]. [cité 18 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.dentsplysirona.com/content/dentsply-sirona/en/explore/imaging-systems/software/tmjd-treatment.html>

45. SICAT Function: Track real motion in motion. [Internet]. 2015 [cité 15 nov 2020]. Disponible sur: https://www.youtube.com/watch?v=oeY_uBeiOS4

46. He S, Kau CH, Liao L, Kinderknecht K, Ow A, Saleh TA. The use of a dynamic real-time jaw tracking device and cone beam computed tomography simulation. Ann Maxillofac Surg. Janv 2016;6(1):113.

47. Sirona at IDS 2013: SICAT Function [Internet]. 2013 [cité 18 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/watch?v=SUpz8y6l3Wg>

48. Planmeca présente son système perfectionné de suivi des mouvements de la mâchoire Planmeca 4D™ Jaw Motion [Internet]. [cité 7 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.planmeca.com/fr/info-presse/nouvelles/planmeca-presente-son-systeme-perfectionne-de-suivi-des-mouvements-de-la-machoire-planmeca-4d-jaw-motion/>

49. Innovative jaw movement tracking | Planmeca 4D Jaw Motion [Internet]. [cité 7 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.planmeca.com/fr/imagerie/imagerie-3d/planmeca-4d-jaw-motion/>

50. #IDS2017: 3SHAPE lance l'enregistrement numérique de l'occlusion dynamique [Internet]. DENTISFUTURIS. [cité 25 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.dentisfuturis.com/ids2017-trios-3shape-lance-lenregistrement-numerique-de-locclusion-dynamique/>

51. L'empreinte optique pour enregistrer l'occlusion [Internet]. Dentalespace. [cité 25 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.dentalespace.com/praticien/actualites/empreinte-optique-enregistrer-occlusion/>

52. Mise en pratique : empreinte optique et occlusion dynamique [Internet]. [cité 25 oct 2020]. Disponible sur: <https://www.dentalespace.com/praticien/actualites/mise-pratique-empreinte-optique/>

53. Lee YC, Lee C, Shim JS, Park JM, Shin Y, Kim JE, et al. Comparison between Occlusal Errors of Single Posterior Crowns Adjusted Using Patient Specific Motion or Conventional Methods. *Appl Sci*. Janv 2020;10(24):9140.
54. Li L, Chen H, Li W, Wang Y, Sun Y. Design of wear facets of mandibular first molar crowns by using patient-specific motion with an intraoral scanner: A clinical study. *J Prosthet Dent*. Août 2021 ; 48(6) :1-8.
55. Valenti M, Schmitz JH. A reverse digital workflow by using an interim restoration scan and patient-specific motion with an intraoral scanner. *J Prosthet Dent*. Juill 2021;126(1):19-23.
56. Lepidi Luca. Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? *J Prosthodont*. Août 2020;30(1):24-35.
57. Tamaki K, Čelar AG, Beyrer S, Aoki H. Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. *J Prosthet Dent*. Oct 1997;78(4):373-378.
58. Carina. Jaw Motion Import - exocad [Internet]. [cité 11 nov 2020]. Disponible sur: <https://exocad.com/our-products/exocad-dentalcad/jaw-motion-import>
59. Module EXOCAD Articulateur Virtuel [Internet]. www.machines-3d.com. [cité 8 févr 2022]. Disponible sur: https://www.machines-3d.com/module-exocad-articulateur-virtuel-xml-541_928_544-1848.html
60. Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. *BMC Oral Health*. Août 2018;18(1):134.
61. Exocad - Licence Chairside pour les dentistes en environnement clinique [Internet]. 3D Dental Store. [cité 11 nov 2020]. Disponible sur: <https://3ddentalstore.fr/exocad-chairside/>
62. Practice Lab #2 : l'articulateur [Internet]. Prothèses. 2016 [cité 11 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.idweblogs.com/cfao/practice-lab-26/>
63. Cheng CW, Ye SY, Chien CH, Chen CJ, Papaspyridakos P, Ko CC. Randomized clinical trial of a conventional and a digital workflow for the fabrication of interim crowns: An evaluation of treatment efficiency, fit, and the effect of clinician experience. *J Prosthet Dent*. Janv 2021;125(1):73-81.

FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Schéma d'une articulation temporo-mandibulaire.

Figure 2 : Mouvements de rotation et de translation des A.T.M.

Figure 3 : Marquage avec du papier d'occlusion

Figure 4 : Image montrant que la taille et l'intensité de la marque laissée n'est pas en corrélation avec la réelle force du contact

Figure 5 : Composition du papier à articuler métallique

Figure 6 : Utilisation du papier à articuler métallique sur des restaurations en céramique

Figure 7 : Application au pinceau de l'indicateur de points de contacts

Figure 8 : Mise en évidence du contact perturbateur

Figure 9 : Application du spray occlusal (ici dans l'intrados d'une prothèse)

Figure 10 : Mise en évidence du contact perturbateur (ici dans l'intrados d'une prothèse)

Figure 11 : Enregistrement des rapports occlusaux avec un silicone par addition

Figure 12 : perforations recherchées après enregistrement

Figure 13 : Enregistrement des rapports occlusaux avec une cire d'occlusion

Figure 14 : Maquette d'occlusion (base en résine et bourrelets en cire ici)

Figure 15 : Essayage de la maquette en bouche

Figure 16 : Montage en articulateur grâce aux maquettes d'occlusion

Figure 17 : Exemple d'articulateur semi-adaptable

Figure 18 : Montage en articulateur grâce à l'enregistrement de la relation maxillo-mandibulaire

Figure 19 : Système T-SCAN® avec le capteur sensitif, la poignée et le fil relié à la prise USB

Figure 20 : Utilisation du T-SCAN®, le patient mord sur le capteur sensitif

Figure 21 : Analyse statique de l'occlusion avec le T-SCAN®

Figure 22 : Analyse dynamique avec des graphiques 3D et 2D

Figure 23 : Système Accura® avec le capteur sensitif et la poignée sans fil

Figure 24 : Le patient mord sur le capteur sensitif pour l'enregistrement

Figure 25 : Analyse via des graphiques 2D et 3D

Figure 26 : Dispositif mis en place, de manière non invasive

Figure 27 : Enregistrement avec le K7x®

Figure 28 : Arc facial électronique ARCUSdigma®

Figure 29 : Capteur mandibulaire avec transmetteurs et arc facial électronique avec receveurs

Figure 30 : Scanner 3D Rexcan®

Figure 31 : Étapes avec le REXCAN®

Figure 32 : Scanner 3D Artec SpaceSpider®

Figure 33 : Enregistrement de la RIM et fusion avec des modèles numériques

Figure 34 : Scan facial et résultat du scan

Figure 35 : Scan facial Bellus 3D® matché avec modèles numériques

Figure 36 : Chariot ModJaw® avec écran tactile et caméra infra-rouge

Figure 37 : Patiente avec la tiare et la fourchette/ « papillon » mandibulaire

Figure 38 : Enregistrement avec ModJaw®

Figure 39 : Patient avec le système JMT®

Figure 40 : Les points radio-opaques sont marqués sur le CBCT

Figure 41 : Visualisation de la dynamique et suivi de points pendant les mouvements, une fois toutes les données fusionnées sur l'interface du logiciel

Figure 42 : Enregistrement du CBCT avec le système de suivi placé sur le patient

Figure 43 : Suivi de points et analyse des mouvements sur le logiciel

Figure 44 : Le PSM® indique la zone où l'enregistrement peut être effectué

Figure 45 : Enregistrement de la dynamique

Figure 46 : Visualisation des contacts occlusaux en statique et en dynamique

Figure 47 : Module articulateur virtuel d'ExoCad®

Figure 48 : Interface de l'articulateur virtuel PracticeLab®

Figure 49 : Visualisation des contacts générés par le logiciel

Tableau 1 : comparaison des moyens conventionnels

Tableau 2 : comparaison des moyens numériques

NANTES UNIVERSITÉ
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Vu le Doyen,

Pr Assem SOUEIDAN

MENARD (Paul) – Enregistrement dynamique de l'occlusion : comparaison des moyens conventionnels et numériques. 71 f ; ill ; 2 tabl ; 63 ref ; 30 cm (Thèse Chir. Dent. ; Nantes ; 2023)

RESUME

L'intégration et la pérennité en bouche des restaurations prothétiques va, en partie, dépendre de l'enregistrement et de la transmission de l'occlusion du patient au prothésiste dentaire. De nombreux outils permettent de l'effectuer cela, qu'ils soient analogiques ou numériques. Chaque outil a ses spécificités en matière de précision, de facilité d'usage, de coût,...

Les outils numériques semblent apporter une aide non négligeable, mais il conviendra à chaque binôme praticien-prothésiste de convenir de la solution avec laquelle ils sont le plus à l'aise et avec laquelle ils obtiennent les résultats les plus satisfaisants.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT – Occlusion Dentaire

MOTS CLES MESH

Occlusion dentaire – Dental Occlusion

Enregistrement dynamique de l'occlusion – Dynamic occlusion recording

Suivi de la dynamique mandibulaire – Jaw motion tracking

Analyse digitale de l'occlusion – Digital occlusal analysis

Scanner intraoral – Intraoral scanner

Imagerie volumétrique par faisceau conique - Cone Beam Computed Tomography

JURY

Président : Professeur LE GUEHENNEC L.

Assesseur : Docteur LE BARS P.

Assesseur : Docteur BLERY P.

Directeur : Professeur LE GUEHENNEC L.

Co-Directeur : Docteur HIBON C.