

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2022

N°:

THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 03 MAI 2022

Par Amory VAN TRIEMPONT

Né le 16 janvier 1997 à Villeneuve-d'Ascq - France

Prothèse fixée : enregistrement et programmation de l'occlusion statique et dynamique
en CFAO

JURY

Président : Monsieur le Professeur BEHIN Pascal
Assesseurs : Monsieur le Docteur VANDOMME Jérôme
Monsieur le Docteur BOITELLE Philippe
Monsieur le Docteur DENIS Corentin

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directrice Générale des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen UFR3S	:	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S	:	G. PIERSON
Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S	:	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services	:	M. DROPSIT
Responsable de la Scolarité	:	G. DUPONT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique Doyen de la faculté d'Odontologie – UFR3S
E. DEVEAUX	Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
T. BECAVIN	Dentisterie Restauratrice Endodontie
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
P. BOITELLE	Prothèses
F. BOSCHIN	Responsable du Département de Parodontologie
E. BOCQUET	Responsable du Département d' Orthopédie Dento-Faciale
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUDEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
T. DELCAMBRE	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
P. HILDEBERT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
C. LEFEVRE	Prothèses
J.L. LEGER	Orthopédie Dento-Faciale
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHRU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
W. PACQUET	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
L. ROBBERECHT	Dentisterie Restauratrice Endodontie
M. SAVIGNAT	Responsable du Département des Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Responsable du Département de Prothèses

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Remerciements aux membres du jury

A mon président du jury,

Monsieur le Professeur Pascal BEHIN

Professeur des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université Paris Descartes

Habilitation à Diriger des Recherches - Université de Lille

Certificat d'Etudes Supérieures de Biomatériaux dentaires - Paris Descartes

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Fixée - Paris Descartes

Responsable Unité Fonctionnelle de Prothèses

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de cette thèse et je vous
en remercie.*

Au membre du jury,

Monsieur le Docteur Jérôme VANDOMME

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Biologie Cellulaire de l'Université de Lille2

Master II Biologie Santé

Master I des Sciences Biologiques et Médicales

Responsable du Département de Prothèses

Assesseur aux Nouvelles Technologies

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury et également pour les cours et TP que vous nous avez enseignés durant nos années d'études.

Au membre du jury,

Monsieur le Docteur Philippe BOITELLE

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur de l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité. Spécialité : Mécanique des matériaux.

Master 2 recherche Biologie et Santé, mention Biologie cellulaire et biologie quantitative – Université Lille2

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales – Université Lille2

Certificat d'Etudes Supérieures d'Odontologie Prothétique option Prothèse fixée – Université Paris Descartes

Prix 2006 Annual Scholarship Award for outstanding academic achievements in dentistry – Pierre Fauchard Academy Foundation – New-York – U.S.A

Assesseur à la Formation Continue

Dr Boitelle, je vous remercie de m'avoir encadré durant les vacances de Clinique du sourire ainsi que pour vos conseils en esthétique et d'avoir accepté de faire partie du jury.

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maître de Conférences des Universités (Associé) – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II « Sciences du médicaments » - Parcours « Dispositifs Médicaux –
Biomatériaux » - Université Lille2

Certificat d'Etudes Supérieures en Prothèses Fixées – Université d'Aix-Marseille

Dr Denis, je vous remercie pour ses 5 années d'enseignement, d'encadrement clinique, d'avoir toujours été à l'écoute des étudiants ainsi que de m'avoir dirigé et aider durant la rédaction de cette thèse.

Remerciements

A Monsieur le Docteur Arnaud Jeu exerçant à La Bassée qui utilise le Modjaw® dans sa pratique et m'a accueilli dans son cabinet pour l'observer et documenter ma thèse.

A Monsieur le Docteur Damien Lemaitre exerçant à Liévin et l'équipe du cabinet, chez qui je travaille en collaboration depuis maintenant 1 an et où j'ai pu apprendre mon métier dans de superbes conditions.

Table des matières

Introduction	14
1 Rappel sur les positions de référence en occlusion dentaire et leurs moyens d'enregistrement	15
1.1 Rappels anatomiques	15
1.1.1 Éléments osseux.....	15
1.1.1.1 Le maxillaire	15
1.1.1.2 La mandibule	15
1.1.1.3 Le temporal.....	16
1.1.2 Éléments dentaires	17
1.1.3 Éléments musculaires	17
1.1.4 Éléments ligamentaires.....	17
1.2 Les plans/courbes de références	18
1.2.1 Plan axio-orbitaire PAO	18
1.2.2 Plan de Francfort.....	18
1.2.3 Plan de Camper	19
1.2.4 Plan d'occlusion	19
1.2.5 Courbe de Spee	19
1.2.6 Courbe de Wilson.....	19
1.2.7 Le triangle de Bonwill	20
1.2.8 L'angle de Balkwill	20
1.3 Les fonctions occlusales	21
1.3.1 Définition de l'occlusion.....	21
1.3.2 La mastication	21
1.3.3 Calage.....	21
1.3.4 Centrage	22
1.3.5 Guidage.....	22
1.4 L'occlusion statique : choix de la position mandibulaire.....	23
1.4.1 La position d'OIM : occlusion d'intercuspidie maximale.....	23
1.4.1.1 Définition.....	23
1.4.1.2 Indications	23
1.4.1.3 Moyens d'enregistrement	23
1.4.2 La position de relation centrée (RC)	24
1.4.2.1 Définition.....	24
1.4.2.2 Indications	25
1.4.2.3 Moyens d'enregistrement	25
1.4.3 La position thérapeutique.....	25
1.4.3.1 Définition.....	26
1.5 L'occlusion dynamique	26
1.5.1 La propulsion.....	26
1.5.2 Les latéralités	27
1.5.3 Moyens d'enregistrement de l'occlusion dynamique.....	27
1.5.3.1 L'arc facial.....	28
1.5.3.2 Programmation des déterminants postérieurs.....	28
1.5.3.2.1 Pente condylienne	28
1.5.3.2.2 L'angle de Bennet.....	29

1.5.3.3	Le plateau incisif personnalisé	29
1.5.3.4	Functionally Generated Path (FGP)	30
1.6	La classification des articulateurs :	30
1.6.1	Articulateurs ajustés ou non adaptables	30
1.6.2	Articulateurs semi-adaptables	30
1.6.3	Articulateurs totalement adaptables	31
1.6.4	Indications des différents articulateurs	31
2	L'enregistrement de l'occlusion en CFAO 3D	33
2.1	Présentation de la CFAO	33
2.1.1	Les différentes étapes	33
2.1.1.1	Acquisition	33
2.1.1.2	Conception assistée par ordinateur (CAO)	34
2.1.1.3	Fabrication assistée par ordinateur (FAO)	35
2.1.2	Les différentes méthodes	35
2.1.2.1	Technique indirecte	35
2.1.2.2	Technique semi-directe	36
2.1.2.3	Technique directe	36
2.2	Enregistrement de l'occlusion statique via l'empreinte optique	37
2.2.1	Technique par voie vestibulaire	37
2.2.2	Enregistrement de l'occlusion avec un mordu	38
2.3	Les articulateurs en CFAO	38
2.3.1	Les articulateurs mathématiques	39
2.3.1.1	Présentation	39
2.3.1.2	Avantages / inconvénients	39
2.3.1.3	Étapes de la réalisation	40
2.3.2	Les articulateurs virtuels	41
2.3.2.1	Avatar numérique de l'articulateur mécanique	41
2.4	Les limites de la CFAO 3D dans l'enregistrement de l'occlusion	42
2.4.1	Les situations cliniques complexes	42
2.4.2	La nécessité d'un double montage : articulateur mécanique / articulateur virtuel	42
2.4.2.1	Par utilisation d'un transfert	42
2.4.2.2	Par utilisation d'un scannage de l'articulateur mécanique	43
2.4.3	Autres techniques disponibles pour un montage personnalisé virtuel	44
2.4.3.1	Anatoscope®, à l'aide du plan de Fox et de la photographie	44
2.4.3.2	L'utilisation d'un scanner facial	46
2.4.3.3	L'utilisation du CBCT pour un montage précis	46
2.4.3.4	L'utilisation de la stéréophotogrammétrie	49
3	L'apport de la CFAO 4D dans l'enregistrement de l'occlusion dynamique	51
3.1	Définition de la quatrième dimension	51
3.2	Exemple de différents dispositifs	51
3.2.1	3Shape Trios® : Patient Specific Motion®	52
3.2.2	Sicat® : JMT +®	53
3.2.3	Zebris JMAOptic®	55
3.3	Le dispositif Modjaw® Tech in Motion	56
3.3.1	Présentation du dispositif	56
3.3.2	Fonctionnement du Modjaw®	58
3.3.3	Applications cliniques	59
3.3.3.1	Diagnostics	59
3.3.3.2	Thérapeutiques	60
3.3.3.3	Les avantages du Modjaw®	68
3.3.3.3.1	L'enregistrement de la relation centrée	68

3.3.3.3.2	L'accessibilité du logiciel avec les logiciels de CAO	69
3.3.3.3.3	La visualisation	69
3.3.3.4	Les limites du Modjaw®	69
3.4	Les avantages de la CFAO 4D.....	69
3.5	Les limites et inconvénients de la CFAO 4D	70
4	Conclusion	71
	Références bibliographiques	72
	Tables des illustrations.....	76
	Tableaux	78
	Tables des abréviations	79

Introduction

La prise d'occlusion, dans les restaurations prothétiques principalement, est une des étapes indispensables dans la prise en charge du patient et un moyen de communication avec le laboratoire. Elle peut être statique ou dynamique. Celle-ci peut être réalisée par plusieurs techniques en fonction de l'état de la denture du patient, complète ou non, de la complexité du cas, de la présence de symptomologie de l'articulation temporo-mandibulaire.

Que ce soit en position d'occlusion d'intercuspidie maximale ou en relation centrée, le praticien utilise généralement un matériau physique comme par exemple du silicone d'occlusion ou de la cire avec un montage sur articulateur ou occluseur physique. Mais depuis plusieurs décennies, l'odontologie connaît l'essor des technologies numériques au sein du cabinet ainsi que dans les laboratoires. La présentation de l'empreinte optique par François Duret au congrès de l'Association Dentaire France (ADF) de 1985 a modifié de manière significative la prise d'empreinte, la prise d'occlusion statique et la communication praticien/prothésiste. Quelles sont les techniques de prise d'occlusion traditionnelles et numériques ? Sont-elles fiables ? Quelles sont leurs indications ?

Plus récemment, de nouveaux dispositifs émergent dans nos cabinets, il est maintenant possible d'enregistrer l'occlusion dynamique du patient de manière numérique. Le patient devient l'articulateur. Comment se présentent-ils ? Sont-ils fiables ? Quel est leur but ?

Afin de répondre à ces questions, dans le premier chapitre nous ferons un rappel sur les notions d'anatomie ainsi que sur les paramètres de l'occlusion et les techniques de prise d'occlusion traditionnelles. Dans un second temps, nous développerons l'enregistrement de l'occlusion en conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) 3D puis nous terminerons par une troisième partie sur la prise d'occlusion dynamique en CFAO 4D.

1 Rappel sur les positions de référence en occlusion dentaire et leurs moyens d'enregistrement

1.1 Rappels anatomiques

L'appareil manducateur et l'occlusion dentaire sont constitués par divers éléments anatomiques qu'ils soient osseux, dentaires, articulaires ou musculaires.

1.1.1 Éléments osseux

1.1.1.1 Le maxillaire

L'os maxillaire (figure 1) est pair, de forme pyramidale, symétrique par rapport à la ligne sagittale médiane, constituant la face avec 6 autres os pairs. Les 2 os soudés forment le support des dents supérieures, le palais dur, le plancher de l'orbite et la partie latérale des fosses nasales. Le maxillaire est pneumatiqué par un sinus qui porte le nom de sinus maxillaire, si celui-ci est proche des dents, on le qualifie de « procident » [1].



Figure 1 : os maxillaires droite et gauche avec les dents (logiciel Essential Anatomy[®]).

1.1.1.2 La mandibule

La mandibule (figure 2) est un os impair, mobile, composée d'un corps horizontal et de deux branches montantes qui s'articulent avec l'os temporal par

l'articulation temporo-mandibulaire (ATM). Elle est le support des dents inférieures [1].



Figure 2 : os mandibulaire (logiciel Essential Anatomy®).

1.1.1.3 Le temporal

L'os temporal est pair, formant avec son homologue une partie de la voûte et de la base du crâne. Chacun des 2 os temporaux est articulé avec une branche montante de la mandibule formant l'ATM droite et gauche.

L'ATM (figure 3) est composée de l'os temporal, en haut, qui accueille dans sa fosse glénoïde le condyle mandibulaire, en bas. Les deux sont séparés physiologiquement par un disque articulaire biconcave, évitant le frottement direct des surfaces osseuses. Mais celle-ci peut être l'emplacement de certaines pathologies, dont les dysfonctionnements cranio-mandibulaires (DCM) [1].

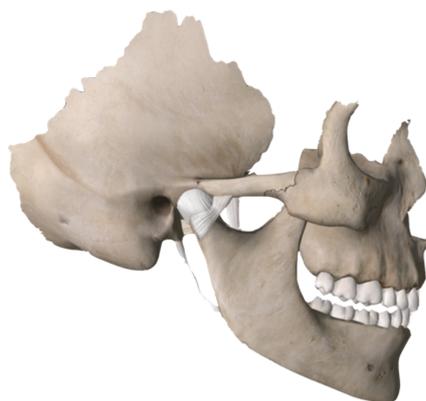


Figure 3 : vue latérale droite de l'ATM avec l'os temporal, mandibulaire, zygomatique et maxillaire (logiciel Essential Anatomy®).

1.1.2 Éléments dentaires

Les deux arcades dentaires, chacune composée de 16 dents, s'engrènent entre elles formant l'occlusion dentaire. Physiologiquement, les cuspides s'engrènent dans les fosses des dents antagonistes.

1.1.3 Éléments musculaires

Les muscles masticateurs mobilisant la mandibule peuvent être classés selon deux catégories [1] :

- les muscles éleveurs de la mandibule :
 - le temporal,
 - le masséter,
 - le ptérygoïdien médial et latéral,
- les muscles abaisseurs de la mandibules :
 - le mylo-hyoïdien,
 - le génio-hyoïdien,
 - le digastrique.

Ces muscles permettent de mobiliser la mandibule dans les 3 plans de l'espace afin qu'elle réalise ses fonctions physiologiques telles que la mastication ou la phonation.

1.1.4 Éléments ligamentaires

L'ATM est une articulation intra-capsulaire, renforcée par des ligaments intrinsèques et des ligaments extrinsèques plus à distance [1] :

- les ligaments intrinsèques :
 - ligament latéral externe,
 - ligament latéral interne,
- les ligaments extrinsèques :
 - ligament sphéno-mandibulaire,
 - ligament stylo-mandibulaire,

- ligament ptérygo-mandibulaire.

1.2 Les plans/courbes de références

1.2.1 Plan axio-orbitaire PAO

Le plan axio-orbitaire (figure 4) est un plan passant par l'axe charnière du condyle mandibulaire ainsi que par le point infra-orbitaire. Il est représenté sur simulateur par la branche supérieure de l'articulateur. A l'aide de l'arc facial, on peut ainsi enregistrer la position du maxillaire par rapport au PAO [2].

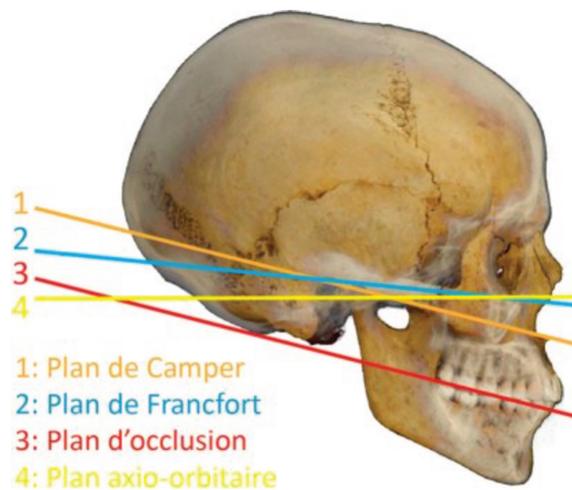


Figure 4 : les plans de référence (E. d'Incau).

1.2.2 Plan de Francfort

Le plan de Francfort est un plan radiologique très utilisé en céphalométrie, celui-ci est horizontal lorsque le patient est en position orthostatique. Il rejoint le porion (bord supérieur du méat acoustique externe) au point infra-orbitaire [2].

1.2.3 Plan de Camper

Il s'agit d'un plan cutané qui rejoint le bord inférieur de l'aile du nez au point supérieur du tragus. Celui-ci est parallèle au plan d'occlusion. Il est donc intéressant lorsque le plan d'occlusion est à reconstruire ou à modifier [2].

1.2.4 Plan d'occlusion

Le plan d'occlusion est un plan horizontal passant par la cuspide disto-vestibulaire de la deuxième molaire mandibulaire ainsi que le bord libre des incisives mandibulaires [2].

1.2.5 Courbe de Spee

La courbe de Spee (figure 5) est une courbe antéro-postérieure à concavité supérieure passant par les pointes cuspidiennes vestibulaires des dents pluricuspidées mandibulaires ainsi que la canine jusqu'au condyle mandibulaire [2].

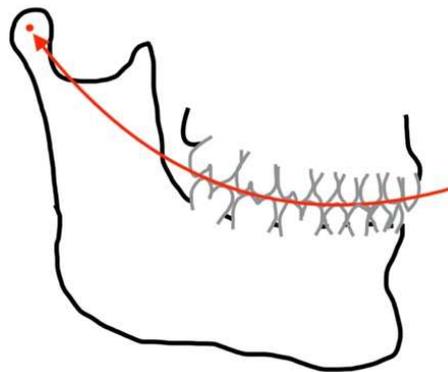


Figure 5 : courbe de Spee (schéma personnel).

1.2.6 Courbe de Wilson

Il s'agit d'une courbe (figure 6) dans le plan frontal, à concavité supérieure, passant par les pointes cuspidiennes vestibulaires et linguales de deux dents homologues [2].

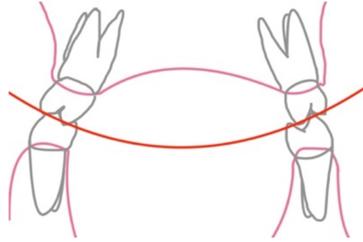


Figure 6 : courbe de Wilson (schéma personnel).

1.2.7 Le triangle de Bonwill

Le triangle de Bonwill (figure 7) est un triangle formé par le sommet des deux condyles en postérieur et le point interincisif mandibulaire.

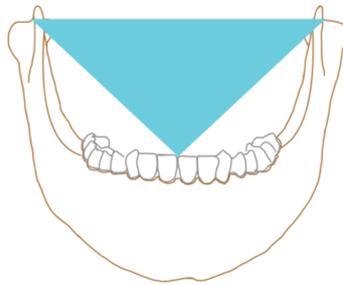


Figure 7 : triangle de Bonwill (schéma personnel).

1.2.8 L'angle de Balkwill

L'angle de Balkwill (figure 8) correspond à l'angle entre le plan d'occlusion et le triangle de Bonwill.

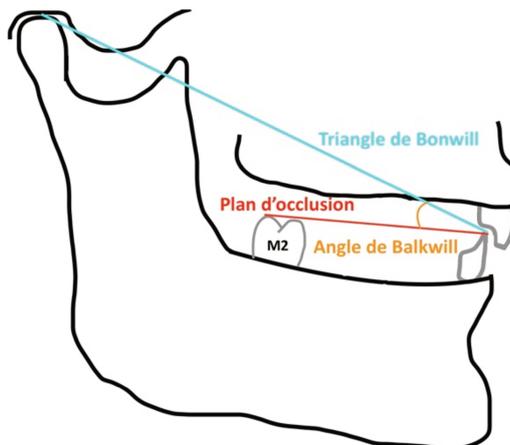


Figure 8 : angle de Balkwill (schéma personnel).

1.3 Les fonctions occlusales

Les fonctions occlusales sont classées en 3 sections selon Orthlieb : le calage, le centrage et le guidage [3].

1.3.1 Définition de l'occlusion

L'occlusion dentaire est un état statique du rapport entre les dents maxillaires et les dents mandibulaires. Autrement dit, c'est la façon dont les dents maxillaires s'engrènent avec les dents mandibulaires à un moment donné. Ils existent de nombreuses occlusions.

1.3.2 La mastication

La mastication est permise par l'affrontement répété des dents antagonistes, qui provoque le broiement, la section, la dilacération du bol alimentaire avant sa déglutition. L'efficacité masticatoire est un phénomène complexe à calculer, celle-ci diminue si le nombre de couple antagoniste diminue.

Des anomalies de la mastication peuvent apparaître lorsqu'il y a :

- les courbes occlusales perturbées,
- une incoordination des arcades,
- l'anatomie occlusale inefficace.

1.3.3 Calage

Le calage est une position où la mandibule est stable en occlusion au niveau interarcade mais aussi intra-arcade.

Des anomalies du calage peuvent apparaître lorsqu'il y a une :

- mobilité ou prématurité occlusale provoquant une instabilité,
- perte dentaire ou sous-occlusion induisant une perte de calage postérieur ou antérieur.

1.3.4 Centrage

Il s'agit d'une position physiologique en occlusion de l'arcade mandibulaire qui n'est pas contraignante pour les différentes structures de l'appareil manducateur.

Celle-ci doit être centrée dans le sens transversal, sagittal et vertical :

- une position symétrique par rapport au crâne dans le plan frontal,
- une dimension verticale harmonieuse respectant les structures osseuses et musculaires,
- une coaptation condylo-disco-temporale dans le plan sagittal.

Des anomalies concernant le centrage peuvent apparaître lorsqu'il y a :

- une déviation mandibulaire en occlusion d'intercuspédie maximale (OIM) : plan transversal,
- une anté/rétroposition exagérée en OIM : plan sagittal,
- une perturbation de la dimension verticale d'occlusion : plan vertical.

1.3.5 Guidage

Les mouvements mandibulaires lors des fonctions ne doivent pas être perturbés par des interférences occlusales qu'elles soient postérieures ou antérieures.

Lors du mouvement de propulsion, il doit y avoir un désengrènement des dents latéropostérieures avec un glissement des dents antérieures mandibulaire sur les faces palatines du secteur incisivo-canin maxillaire. Concernant les mouvements de diduction, il existe deux possibilités :

- la protection canine : contact des canines antagonistes homolatérales sans autre contact dentaire,
- la protection de groupe : contact des canines et des dents pluricuspidées homolatérales sans contact controlatéral.

Des anomalies du guidage peuvent apparaître lorsqu'il y a :

- une infraposition : béance,
- une supraposition : excès de recouvrement,
- un excès de surplomb,
- un surplomb négatif (articulé inversé).

1.4 L'occlusion statique : choix de la position mandibulaire

1.4.1 La position d'OIM : occlusion d'intercuspidie maximale

1.4.1.1 Définition

C'est une position de la mandibule dépendante uniquement des dents où il y a un maximum de contacts dentaires inter-arcades. C'est la position de référence par défauts si celle-ci respecte certaines conditions [3].

1.4.1.2 Indications

Selon Laplanche, les critères de validité de l'OIM sont [3] :

- Décalage d'occlusion en relation centré (RC) – OIM strictement sagittal et inférieur à 1mm
- Absence de décalage transversal
- Dimension verticale d'occlusion (DVO) bonne
- Stabilité assurée par au moins 5 couples d'antagonistes prémolaires, qui persisteront pendant toute la durée du traitement
- Absence de symptomologie douloureuse de l'appareil manducateur.

1.4.1.3 Moyens d'enregistrement

Pour enregistrer l'occlusion en position d'OIM, il existe plusieurs techniques qui sont à adapter en fonction de la situation clinique (tableau 1).

Tableau 1 : les différents moyens d'enregistrement de l'occlusion en OIM [3].

Moyens d'enregistrement	Indications	Méthodes
Repositionnement manuel	Petite reconstitution ≤ 2 dents dans un secteur encastré sur des arcades complètes	Repositionnement en fonction des facettes d'attritions
Table occlusale	Petite reconstitution plurale	Après les préparations, une cire (type Moyco) de double épaisseur est positionnée sur les préparations pour enregistrer les indentations.
Mordu : élastomère d'occlusion	Petite reconstitution ≤ 2 dents dans un secteur encastré sur des arcades complètes	Le matériau de faible viscosité est déposé sur les faces occlusales de l'hémi-arcade mandibulaire du côté où se situe la préparation
Clé vestibulaire	Petite reconstitution ≤ 2 dents dans un secteur encastré sur des arcades complètes chez un patient ayant des difficultés à se repositionner en OIM	Le patient est positionné en OIM. Le praticien enregistre l'occlusion à l'aide d'un élastomère de haute viscosité qu'il place sur les faces vestibulaires.

1.4.2 La position de relation centrée (RC)

1.4.2.1 Définition

Contrairement à l'OIM, la relation centrée est dépendante de la relation articulaire. Il s'agit de la position condylienne physiologique la plus haute et antérieure de contact articulaire condylo-disco-temporal, provoquant une rotation pure des condyles selon un axe charnière. Celle-ci est physiologique, répétitive, reproductible, indépendante des dents et permet également de modifier la DVO.

1.4.2.2 Indications

La relation centrée doit être utilisée lorsque :

- L'OIM ne peut être obtenue de manière fiable
- Pour une grande reconstruction plurale
- Les ATM sont saines et ne présentent pas de pathologie intracapsulaire
- Le patient souffre de douleurs musculaires

1.4.2.3 Moyens d'enregistrement

Comme pour l'OIM, en fonction des indications, il existe différentes méthodes pour enregistrer l'occlusion en RC, résumées dans la tableau ci-dessous (tableau 2).

Tableau 2 : les différents moyens d'enregistrement de l'occlusion en RC[3].

Moyens d'enregistrement	Indications	Méthodes
Cires latérales	Sujet denté avec un faible édentement	Une bande de cire (type Moyco) est placée de chaque côté (droite/gauche) en double épaisseur de la canine à la 1 ^{ère} /2 ^{ème} molaire maxillaire. Puis le patient est manipuler en RC pour enregistrer les indentations dans la cire.
Cire pleine	Situation clinique présentant des préparations périphériques multiples	Même méthodes que les cires latérales mais avec une seule bande de cire
Base d'occlusion avec recouvrement	Situation clinique nécessitant un support muqueux	Après avoir vérifié la stabilité et le bon positionnement de la base d'occlusion le patient est placé en RC.
Base d'occlusion sans recouvrement	Situation clinique où la RC = OIM principalement dans les édentements postérieurs bilatéraux	Après avoir vérifié la stabilité et le bon positionnement de la base d'occlusion le patient est placé en RC.

1.4.3 La position thérapeutique

1.4.3.1 Définition

Il s'agit d'une position mandibulaire définie par le praticien après un traitement occlusodontique pour des douleurs articulaires de l'ATM. La position thérapeutique obtenue par le praticien doit être enregistrée et conservée.

1.5 L'occlusion dynamique

1.5.1 La propulsion

La propulsion est le mouvement effectué vers le bas et l'avant par la mandibule depuis l'OIM jusqu'au bout à bout incisif. Les faces palatines du bloc incisivo-canin maxillaire guident la mandibule, lors du mouvement, par un frottement avec le bloc antérieur mandibulaire. C'est ce qu'on appelle le guidage antérieur. Il doit y avoir un désengrènement bilatéral postérieur des dents sinon il s'agit d'une interférence à corriger (figures 9A et 9B) [4].

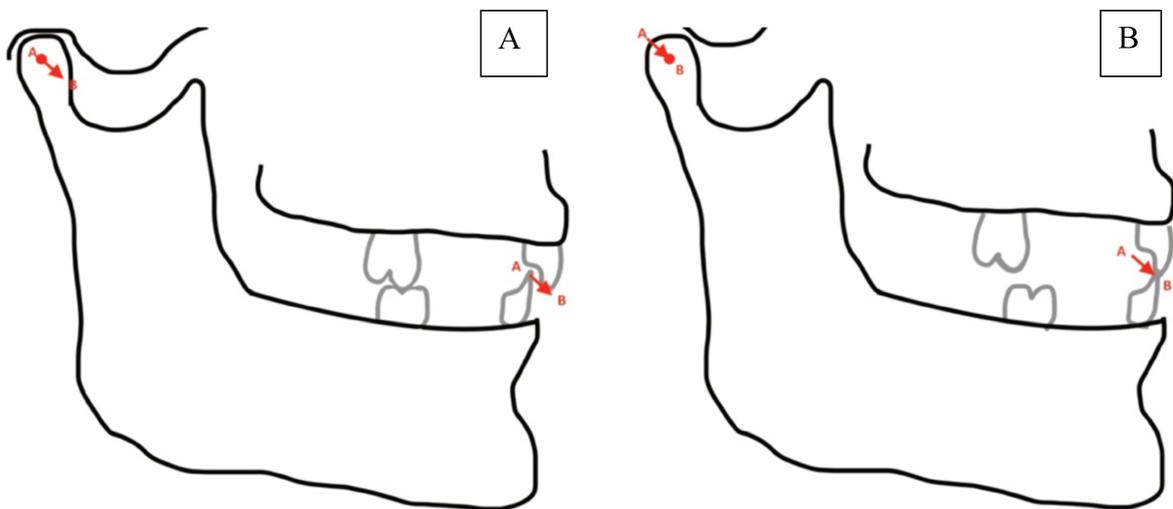


Figure 9 : schéma du mouvement de propulsion en position initiale (A) et position finale (B) (schéma personnel).

La propulsion, en plus d'être dépendante de la pente incisive, est également dépendante de la pente condylienne (PC).

Dans certaines situations où le guidage antérieur est a fonctionnel ou dysfonctionnel, le patient aura une propulsion prise en charge par les cuspides des dents postérieures.

1.5.2 Les latéralités

La mandibule translate, d'un côté ou de l'autre, depuis l'OIM jusqu'au :

- bout à bout canin homolatéral sans autre contact dentaire (c'est la protection canine),
- OU
- bout à bout des cuspides vestibulaires des dents postérieures homolatérales sans contact controlatéral (protection de groupe).

Les latéralités dépendent :

- au niveau du coté non travaillant : de l'angle de Bennett (défini ultérieurement),
- au niveau du coté travaillant : de la pente canine ou de la pente des pans palatins des cuspides vestibulaires des dents pluricuspidées maxillaires.

1.5.3 Moyens d'enregistrement de l'occlusion dynamique

L'enregistrement et la programmation de l'occlusion dynamique dans une restauration prothétique, notamment dans les reconstitutions plurales de grande étendue, permettent au prothésiste de pouvoir réaliser la morphologie occlusale plus précisément.

En effet, il peut :

- éviter les prématurités occlusales en créant des points de contact homogènes et répartis avec les dents antagonistes en occlusion statique,
- faire participer certaines dents ou éviter des interférences dans les mouvements de latéralité et de protrusion.

Pour cela, il faut réaliser au préalable un montage personnalisé sur articulateur via l'arc facial. En bouche, la prothèse est ainsi mieux adaptée et nécessite moins de retouche de la part du praticien.

1.5.3.1 L'arc facial

L'arc facial permet d'enregistrer et de transférer, sur articulateur, la position du maxillaire par rapport au plan axio-orbitaire et ainsi avoir un montage personnalisé et fidèle à la situation clinique. Le modèle mandibulaire est ensuite transféré sur l'articulateur dans la position de référence (RC ou OIM) par le moyen d'enregistrement de la relation intermaxillaire (RIM) choisi.

Celui-ci remplace la table de montage qui, quant à elle, permet de réaliser des montages standardisés avec une valeur statistique moyenne : 10° d'inclinaison dans le plan sagittal vers le bas et l'avant par rapport au plan axio-orbitaire.

A partir d'un montage personnalisé, on peut programmer l'articulateur avec les valeurs réelles du patient en enregistrant les déterminants postérieurs et la pente incisive. On reproduit ainsi les mouvements mandibulaires du patient sur le simulateur.

1.5.3.2 Programmation des déterminants postérieurs

Les déterminants postérieurs sont la pente condylienne et l'angle de Bennet. Ils peuvent être enregistrés et mesurés via un axiographe, il permet d'enregistrer l'anatomie de l'articulation temporo-mandibulaire en valeur angulaire.

1.5.3.2.1 Pente condylienne

La pente condylienne (figure 10) (PC) est l'angle formé dans le plan sagittal par la sécante du trajet condylien lors du mouvement de propulsion et le plan de référence axio-orbitaire [5]. La valeur moyenne de la PC est de 40° chez un sujet jeune et sain.

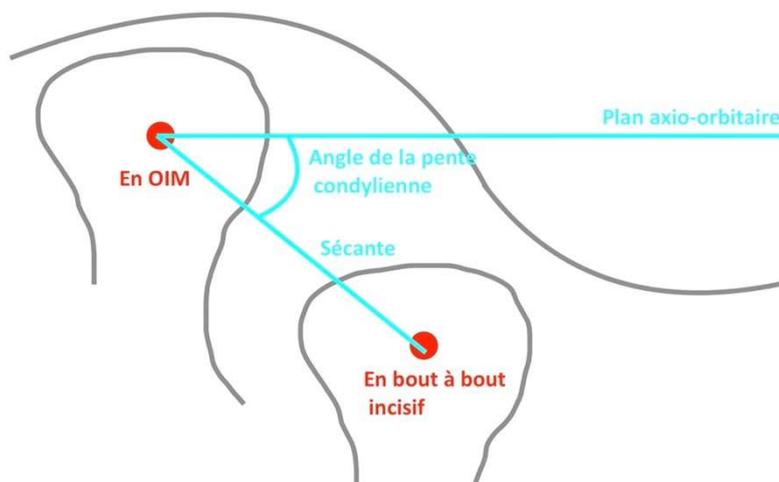


Figure 10 : pente condylienne (schéma personnel).

1.5.3.2 L'angle de Bennet

Le mouvement du condyle non travaillant lors d'une diduction, qui s'effectue vers le bas, l'avant et le dedans, forme l'angle de Bennet dans le plan horizontal. Ce dernier est formé entre la sécante du trajet du condyle non travaillant et le plan parasagittal.

1.5.3.3 Le plateau incisif personnalisé

Dans une situation où nous devons intervenir prophétiquement sur des dents antérieures dont le guidage est présent et fonctionnel ou qu'il s'agisse d'une nouvelle proposition de guide antérieur validée cliniquement, il est impératif de le conserver et de l'enregistrer.

L'enregistrement se fait à l'aide d'un montage personnalisé monté sur articulateur. Une faible quantité de résine autopolymérisable est déposée sur la table incisive, cette résine sera modelée par la tige incisive mise en mouvement par le praticien effectuant les mouvements dynamiques sur l'articulateur jusqu'à polymérisation complète de celle-ci.

Ainsi, lors du montage de la céramique, le prothésiste pourra réaliser une pente incisive/canine à l'identique [3].

1.5.3.4 Functionally Generated Path (FGP)

Le FGP (figure 11) consiste à enregistrer les déplacements mandibulaires de la ou des dents antagonistes à l'aide d'une cire inerte déposée en bouche sur la/les préparation(s). Cette cire sera modelée par le patient effectuant les mouvements de diduction et de propulsion [3].



Figure 11 : FGP réalisé pour la restauration d'une première prémolaire maxillaire droite [3].

1.6 La classification des articulateurs :

L'articulateur est un dispositif mécanique qui permet de simuler approximativement la dynamique mandibulaire. Il en existe des différents, en fonction de leur possibilité de programmation des déterminants antérieures et postérieurs.

1.6.1 Articulateurs ajustés ou non adaptables

Ils ne sont pas modifiables et sont configurés selon des moyennes.

1.6.2 Articulateurs semi-adaptables

Les articulateurs semi-adaptables (figure 12) reproduisent la cinématique du patient selon des sécantes et non des courbes comme réellement.

La première génération permet de régler la pente condylienne ainsi que l'angle de Bennett. La seconde génération permet en plus de régler le déplacement latéral immédiat du côté non travaillant lorsque le patient présente une hyperlaxité.



Figure 12: photographie d'un articulateur semi adaptable de Quickmaster® (illustration personnelle).

1.6.3 Articulateurs totalement adaptables

Ils permettent de reproduire la cinématique réelle du patient selon des courbes. Certains sont programmables par un enregistrement exo-buccal soit pantographique, soit axiographique, d'autres par un enregistrement intra-buccal.

1.6.4 Indications des différents articulateurs

Le choix de l'articulateur dépend principalement de l'efficacité du guidage antérieure mais aussi par la taille de la reconstitution et si les dents sont cuspidées ou abrasées (tableau 3).

Tableau 3 : indications des articulateurs en fonction du guidage antérieur.

Efficacité du guidage antérieur	Type d'articulateur	
	Dents cuspidées	Dents abrasées
Très efficace	Ajusté	
Efficace	Semi adaptable de 1 ^{ère} génération avec programmation standard	Semi adaptable de 2 ^{ème} génération avec programmation standard
Faible	Semi adaptable de 1 ^{ère} génération avec programmation personnalisée	Semi adaptable de 2 ^{ème} génération avec programmation personnalisée

2 L'enregistrement de l'occlusion en CFAO 3D

2.1 Présentation de la CFAO

La CFAO dentaire fit son apparition dans les années 1980 à Paris, où François Duret en fit la présentation à l'ADF en 1985. Dans cette séance, avec l'aide d'ingénieurs, il réalise, au fauteuil, une couronne sur prémolaire, de l'empreinte au scellement [6].

2.1.1 Les différentes étapes

2.1.1.1 Acquisition

La CFAO n'est possible qu'à partir d'une empreinte optique [7]. En fonction de la méthode de CFAO utilisée, l'étape d'acquisition ne sera pas la même. En effet, l'acquisition en méthode directe et semi-directe se fera par une empreinte optique intrabuccale, tandis qu'en méthode indirecte, celle-ci se fera à l'aide d'une empreinte physique/conventionnelle qui sera scannée au laboratoire par un scanner de table.

L'empreinte optique consiste à enregistrer des mesures numériques pour créer un résultat en 3D d'une situation clinique [7]. Il s'agit d'un rayonnement lumineux réfléchi sur un objet cible pour mesurer des formes, ce qui donne un modèle numérique au format stéréolithographie (STL).

L'empreinte en bouche se déroule généralement de la façon suivante :

- enregistrement de l'arcade/secteur concerné(e),
- enregistrement de l'antagoniste,
- enregistrement de l'occlusion statique.

Ender et coll ont réalisé une étude in vivo sur la précision des empreintes conventionnelles et numériques [8]. Les scanners intra oraux montrent une meilleure exactitude et précision que les empreintes à l'alginat, mais présentent cependant des écarts par rapport aux empreintes réalisées par silicone ou polyéther. La précision variait de 12,3 µm pour le silicone à 167,2 µm pour l'alginat, avec la plus grande

reproductibilité dans les groupes d'empreintes au silicone et les empreintes au silicone scannées (sans être coulées). Les empreintes conventionnelles ont montré la plus grande fiabilité sur l'arcade dentaire complète dans tous les groupes, à l'exception du groupe à l'alginat [8]. La précision des empreintes physiques et numériques est dépendante de divers facteurs à prendre en considération tels que l'opérateur, la salive et de la coopération du patient.

Selon Aragon, en comparant six scanners différents et incluant quatre études, les mesures inter et intra-arcade sur les fichiers STL semblaient fiables et précises comparées aux empreintes physiques [9].

Concernant les empreintes optiques intraorales, dans la mesure du possible, l'empreinte doit être réalisée avec le moins d'acquisition possible pour augmenter la justesse des contacts occlusaux et éviter les superpositions. Une acquisition d'une arcade complète est moins précise qu'un balayage d'une seule unité dentaire en raison d'un effet d'inclinaison [10,11].

En moyenne, les divers dispositifs d'empreintes optiques présentent une reproductibilité d'acquisition suffisante cliniquement [11]. Cependant, il faut savoir que la fiabilité diminue lorsque la zone à scanner augmente en raison d'un effet d'inclinaison mais qu'elle est la plus élevée lorsque la zone concerne une à quatre dents [12].

Les empreintes optiques directes ont pour avantage d'être plus confortables pour le patient et pour l'opérateur, moins chronophages, de pouvoir être stockées facilement et indéfiniment mais représentent un coût initial élevé.

2.1.1.2 Conception assistée par ordinateur (CAO)

Au cours de cette étape, le praticien ou le prothésiste confectionne, à l'aide d'un logiciel informatique, la morphologie de la restauration en l'adaptant au niveau occlusal, proximal et cervical du cas clinique précédemment scanné. Elle est ensuite envoyée pour l'usinage à une machine-outil [13].

2.1.1.3 Fabrication assistée par ordinateur (FAO)

La fabrication assistée par ordinateur est le dernier maillon de la CFAO. Elle consiste à matérialiser le projet prothétique à partir d'une conception informatique [7]. Il existe plusieurs méthodes de fabrication (tableau 4).

Tableau 4 : méthodes de fabrication assistée par ordinateur.

Les différentes méthodes de FAO :		Description
La FAO additive :	Stéréolithographie	Création d'un objet par superposition de strates de résine liquide photosensible, polymérisées par un faisceau lumineux ultraviolet.
	Frittage laser	Fabrication d'un objet métallique par l'action d'un faisceau laser sur une poudre de métal.
	Dépôt de fil	Fabrication d'un objet par projection de matériau à l'aide d'une buse qui se déplace horizontalement formant des strates successives solidarisées.
La FAO soustractive :	Usinage	L'objet est créé à partir d'un bloc de matériau qu'une machine-outil va réduire pour donner forme à cet objet.

2.1.2 Les différentes méthodes

2.1.2.1 Technique indirecte

Comme dit précédemment, en technique indirecte, les étapes de la CFAO se réalisent au laboratoire sur une empreinte physico-chimique réalisée au cabinet puis ensuite coulée et scannée au laboratoire [14].

2.1.2.2 Technique semi-directe

Cette méthode semi-directe consiste à réaliser sur une empreinte optique intra-buccale au cabinet puis de l'envoyer au laboratoire par voie numérique pour la réalisation de la CAO et FAO. Il y a donc des étapes de la CFAO qui se déroulent au cabinet et d'autres au laboratoire [15].

Récemment, de plus en plus de praticiens envoient leurs empreintes optiques au laboratoire pour la CAO mais réalisent la FAO au cabinet par une usineuse.

2.1.2.3 Technique directe

En méthode directe, toutes les étapes de la CFAO se réalisent au cabinet, de l'acquisition à la fabrication (figure 13).

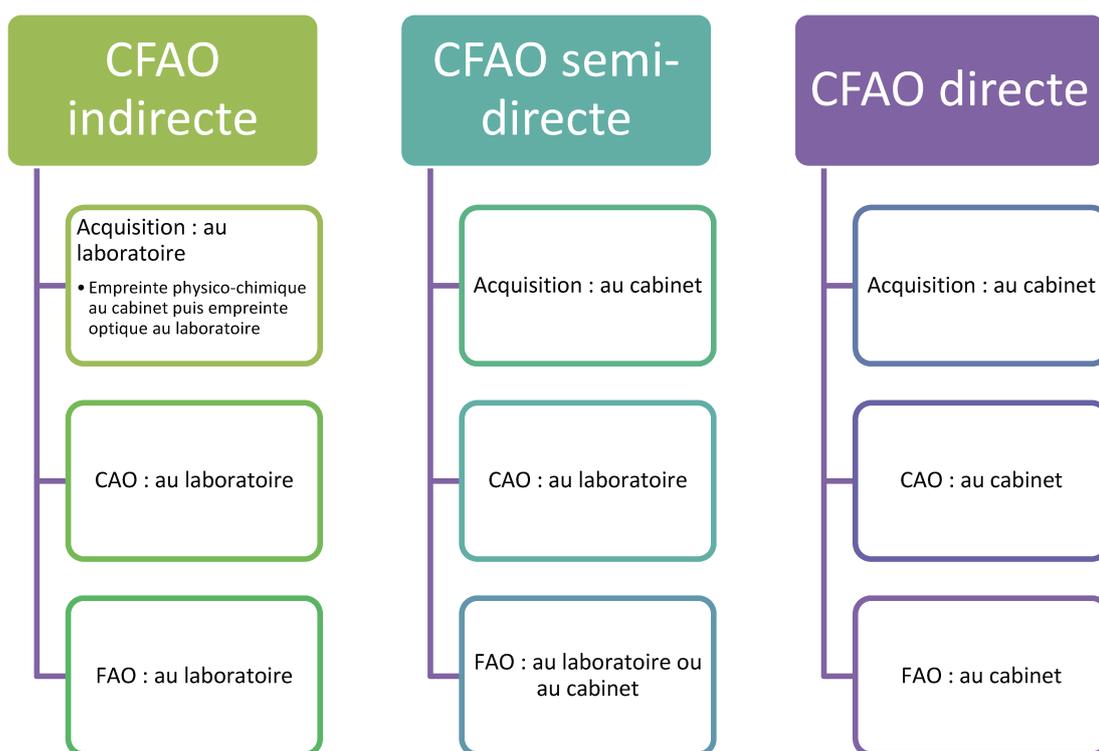


Figure 13 : schéma résumé des méthodes de CFAO (schéma personnel).

2.2 Enregistrement de l'occlusion statique via l'empreinte optique

2.2.1 Technique par voie vestibulaire

Dans les cas cliniques de restaurations de faibles étendues à réaliser, avec une occlusion physiologique stable et un guidage efficace, une empreinte optique sectorielle de l'arcade concernée, de l'antagoniste ainsi qu'un enregistrement des faces vestibulaires en occlusion suffisent pour que le logiciel de CAO puisse mettre en occlusion les deux arcades (figure 14) [3].

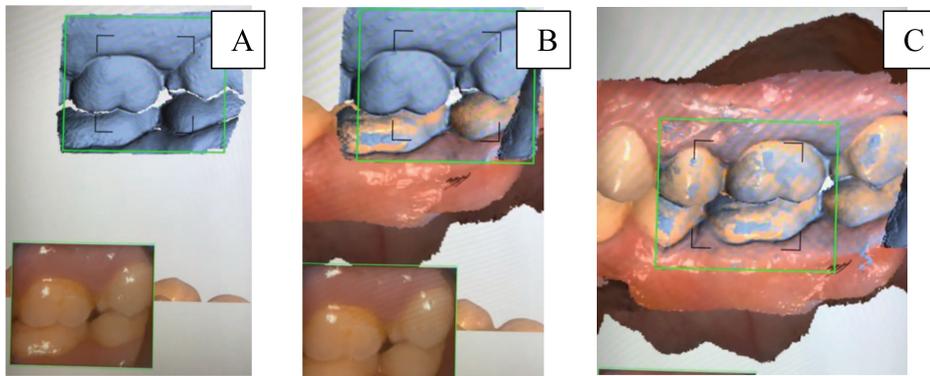


Figure 14 : enregistrement de l'occlusion par voie vestibulaire avec la 3Shape Trios 4[®], A : acquisition en occlusion, B : le logiciel repositionne l'arcade mandibulaire, précédemment scannée, en reconnaissant la forme des dents et de la muqueuse sur le scanne de l'occlusion, C : idem pour l'arcade maxillaire (photographie personnelle).

Une étude réalisée par Gastineau pour sa thèse d'exercice [16], compare, sur 11 patients, les points de contacts enregistrés en OIM par voie vestibulaire en empreinte optique (Cerec[®] Omnicam) avec ceux relevés en bouche et ceux sur les modèles en plâtre montés sur un articulateur semi adaptable.

Lors d'une acquisition de l'arcade entière, les contacts relevés par les empreintes optiques ne sont répartis que sur les secteurs ayant servies à l'enregistrement de l'occlusion par voie vestibulaire.

Pour une héli-arcade, concernant l'Omnicam[®], elle relève 64% des contacts par rapport à la situation clinique, contrairement à 59% sur les modèles en plâtre avec du papier d'occlusion 12 μ m.

Cependant d'autres techniques d'enregistrement de l'occlusion existent.

2.2.2 Enregistrement de l'occlusion avec un mordu

Après avoir enregistré les arcades individuellement, le praticien réalise un mordu avec un silicone spécifique pour les empreintes optiques (ex : Virtual CAD Bite Registration® d'Ivoclar Vivadent®). Une fois le mordu vérifié, il est repositionné sur la préparation, poudré si nécessaire, puis le praticien enregistre l'image de la situation antagoniste sur le mordu (figure 15). Ensuite, le logiciel repositionne la ou les dent(s) antagoniste(s) dans le mordu.



Figure 15: silicone Virtual CAD Bite Registration® positionné sur la préparation avec enregistrement de l'antagoniste en négatif (Ivoclar Vivadent®).

Lorsqu'il s'agit de cas plus complexes, d'autres difficultés entrent en jeu, il est nécessaire de configurer certains déterminants postérieurs et antérieures ainsi que d'utiliser un articulateur .

2.3 Les articulateurs en CFAO

L'articulateur virtuel est une des applications de la réalité virtuelle en dentisterie. L'articulateur passe d'un dispositif mécanique à son alternative numérique [17]. Celui-ci réduit considérablement les limites de l'articulateur mécanique et, par la simulation de données réelles du patient, permet l'analyse de l'occlusion statique et dynamique dans un environnement virtuel [18,19]. Plusieurs logiciels de CFAO proposent des articulateurs virtuels comme Cerec®, 3Shape® ou Exocad®.

L'utilisation d'un articulateur virtuel permet d'éviter les problèmes courants de l'articulateur mécanique tels que la déformation des matériaux, l'apparition de

nouveaux contacts occlusaux, et les difficultés à simuler les données du patient dans trois dimensions [20].

Selon Shivamurthy [21], il est nécessaire de distinguer les articulateurs mathématiques des articulateurs virtuels.

2.3.1 Les articulateurs mathématiques

2.3.1.1 Présentation

Les articulateurs mathématiques sont utilisés principalement dans la méthode de CFAO directe (autrement appelée Chairside) comme avec le Cerec®.

Les arcades sont scannées par empreinte optique, le logiciel réalise ensuite l'enveloppe limite des mouvements (zone où les différents mouvements mandibulaires sont concentrés) par plusieurs calculs qui se basent sur des moyennes en fonction du genre du patient et de la distance intercondylienne [22]. Le résultat final nous donne un *Function Generated Path* (FGP) comme décrit précédemment mais de façon dématérialisée.

Etant donné qu'il s'agit d'une approche mathématique basée sur des moyennes, il n'est pas possible d'obtenir les trajectoires exactes de mouvement individualisées de chaque patient [17].

2.3.1.2 Avantages / inconvénients

L'articulateur mathématique présente cependant certaines limites d'utilisation (tableau 5).

Tableau 5: avantages et inconvénients de l'utilisation d'un articulateur mathématique [22].

Avantages	Inconvénients
Automatique, ne nécessite pas l'entrée de données par l'opérateur.	N'est pas adapté aux restaurations de grandes étendues, ce ne sont que des valeurs approximatives.
Facilité d'utilisation. Permet de définir la position des arcades par rapport à l'axe bi-condylien de façon dématérialisée sans arc facial.	Utilisation limitée en cas d'absence de guidage antérieur ou de modification de la DVO.
Permet de moduler le FGP pour éviter les interférences occlusales	Requiert la présence de références dentaires pour effectuer les calculs.
Suffisant pour des restaurations encastrées ou ayant de nombreux supports dento-dentaires.	

2.3.1.3 Étapes de la réalisation

- Acquisition intrabuccale ou au laboratoire : les deux arcades et l'occlusion en OIM pour l'occlusion statique.
- Le logiciel gère ensuite automatiquement le positionnement et l'orientation des arcades dentaires par rapport à l'axe bi-condylien en déterminant l'angle de Balkwill et la hauteur du triangle de Bonwill (figure 16).
- Après ces étapes, l'opérateur a la possibilité de modifier les déterminants postérieurs et ainsi obtenir des FGP différents.

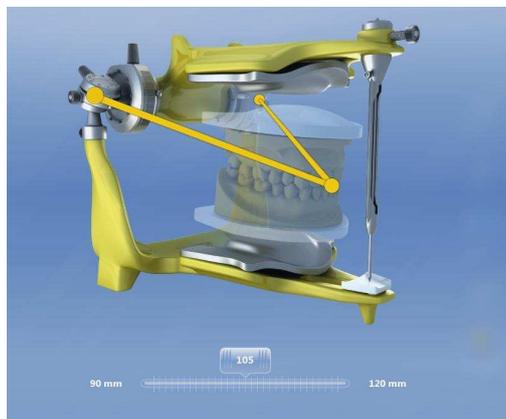


Figure 16 : gestion du triangle de Bonwill (Cerec®).

Une étude réalisée par Mehl, confirme la fiabilité du logiciel Cerec® dans la programmation et le positionnement des arcades scannées [23]. Le triangle de Bonwill ainsi que l'angle de Balkwill ont été étudiés sur 125 CBCT et comparés aux valeurs moyennes obtenues par le logiciel Cerec®. Le logiciel montrait une bonne reproductibilité dans le positionnement du maxillaire par rapport à l'axe bi-condylien. Mehl, un des concepteur du Cerec®, affirme cependant que ce dispositif n'est pas adapté aux restaurations de grandes étendues. De même, en cas d'absence de guidage antérieur ou de modification de la dimension verticale, des étapes de validation clinique doivent être réalisées.

2.3.2 Les articulateurs virtuels

Ce logiciel est facultatif dans le software de CAO, mais représente une première aide précieuse dans la prise en charge de la fonction masticatoire du patient, afin de confectionner des faces occlusales ajustées dynamiquement [24].

2.3.2.1 Avatar numérique de l'articulateur mécanique

Il s'agit d'un avatar numérique d'articulateur mécanique (figure 17), l'arcade maxillaire est montée virtuellement et arbitrairement sur l'articulateur comme lorsqu'il s'agit d'un montage physique avec une table de montage [22].



Figure 17 : illustration d'articulateurs virtuels (Information dentaire).

2.4 Les limites de la CFAO 3D dans l'enregistrement de l'occlusion

Le positionnement du maxillaire, avec son plan d'occlusion, se monte de manière arbitraire, avec une valeur moyenne. Il est donc inutile de vouloir programmer les déterminants postérieurs au vue de la position non précise de l'arcade par rapport au plan axio-orbitaire [22].

2.4.1 Les situations cliniques complexes

Dans des situations cliniques complexes, comme pour les restaurations postérieures de grande étendue, où d'importantes modifications de l'occlusion sont à prévoir, il est indispensable de programmer les déterminants de l'occlusion, tels que :

- la reconstruction d'un guidage antérieur,
- le changement de position de référence.

Nous mettons en avant un des points faibles, en cours de développement, de la chaîne numérique. En effet, dans ces situations cliniques, afin de passer à la FAO, il est nécessaire de sortir de la chaîne numérique par un montage personnalisé sur un articulateur mécanique puis d'y revenir par un double montage [22].

2.4.2 La nécessité d'un double montage : articulateur mécanique / articulateur virtuel

Ces méthodes permettent le transfert de la position du maxillaire par rapport au plan axio-orbitaire mais en passant par un articulateur mécanique, on sort donc du tout digital, ce qui est chronophage. Deux possibilités existent :

- l'utilisation d'un transfert,
- le scannage de l'articulateur mécanique.

2.4.2.1 Par utilisation d'un transfert

Le montage personnalisé des arcades dentaires, sur articulateur mécanique, se fait de façon classique avec un arc facial. Chacune des arcades est scannée indépendamment, puis elles sont fixées sur un transfert calibré, ou gabarit spécifique, pour une nouvelle numérisation via un scanner de table (figure 18). Il est ensuite

possible de programmer virtuellement l'articulateur avec les déterminants postérieurs déjà enregistrés et connus. Un montage personnalisé virtuel est donc obtenu.

Ury a réalisé une étude dont le but était de vérifier la fiabilité de ce procédé. Celui-ci a comparé l'analyse occlusale de 18 patients sur articulateur physique avec celles réalisées sur les modèles virtuels après avoir été transférés. Les coordonnées des points de contact physiques et virtuels correspondants ont été mesurées.

Au total, 93% des points analogiques correspondaient à un point virtuel. La précision du transfert, correspondant à la distance entre les points analogiques et virtuels homologues, était de $0,55 \pm 0,31$ mm [25].

Au vue de cette étude, la méthode utilisant un transfert peut être utilisée de manière fiable [25].

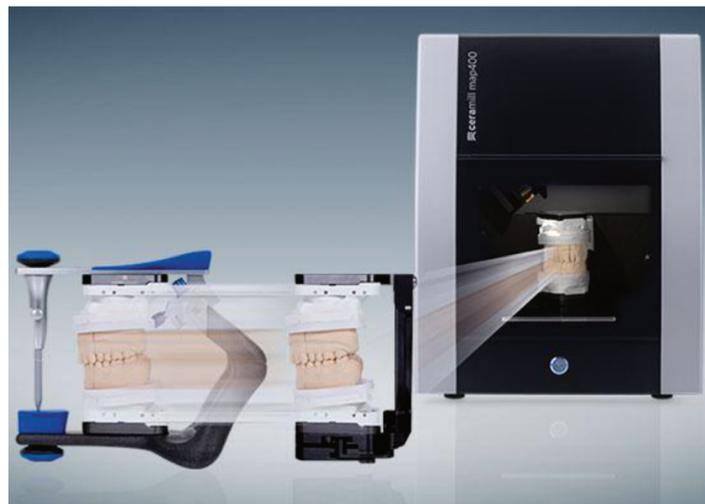


Figure 18 : méthode de double montage avec utilisation de transfert (Amann Girschbach®).

2.4.2.2 Par utilisation d'un scannage de l'articulateur mécanique

L'articulateur mécanique, avec le montage personnalisé, est entièrement scanné par un scanner de table après avoir scanné individuellement les arcades. L'utilisateur choisit l'articulateur numérique dans le logiciel correspondant à l'articulateur physique utilisé (figure 19).

Cependant il ne s'agit pas d'une chaîne numérique complète et présente plusieurs désavantages comme :

- l'obligation de passer par un arc facial et un montage physique, ce qui nécessite du temps supplémentaire au cabinet,

- de présenter quelques inexactitudes comme l'expansion du plâtre ou la déformation du matériau d'enregistrement de l'occlusion [26,27].



Figure 19 : scannage d'un articulateur pour avoir son homologue virtuel (Amann Girrbach®) .

Récemment, pour contrer ce manque dans la chaîne numérique, de nouveaux dispositifs voient le jour, comme des outils d'enregistrement complémentaires de type arc facial numérique, voire des systèmes d'enregistrement de la dynamique mandibulaire.

2.4.3 Autres techniques disponibles pour un montage personnalisé virtuel.

2.4.3.1 Anatoscope®, à l'aide du plan de Fox et de la photographie

Les deux arcades sont scannées en intra-oral ainsi que l'occlusion statique en position d'OIM. Une copie de l'occlusion est réalisée puis un autre enregistrement en RC est effectué à l'aide d'une butée antérieure.

Des photographies du patient sont ensuite réalisées, de face et de profil avec un plan de Fox en bouche dont les faces sont recouvertes d'un élastomère (figure 20). Les indentations des dents maxillaires dans l'élastomère sont scannées. Tous les fichiers STL ainsi que les photographies sont transmis à la société Anatoscope® qui a la possibilité de reconstruire et de simuler en 3D le corps du patient à partir d'imagerie médicale.

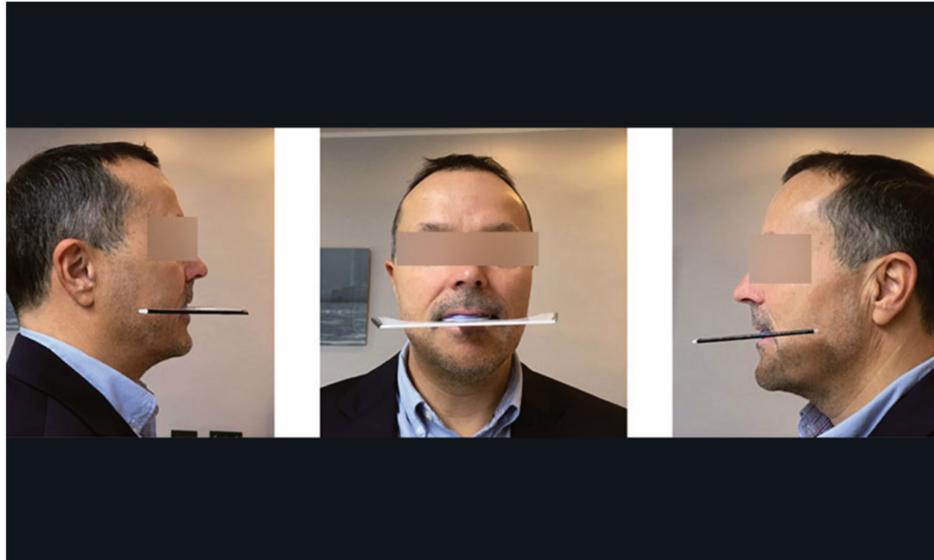


Figure 20 : photographies de face et de profil d'un patient avec le plan de Fox en bouche [28].

Sur le plan de Fox, un repère de 10 cm indique une échelle qui est repérable sur les photographies, celui-ci permet de placer le plan de Fox par rapport à l'axe charnière en vue de profil droit et gauche. De face, la distance entre les deux condyles est ainsi mesurée. La concordance du fichier STL de l'arcade maxillaire avec celui de l'élastomère sur le plan de Fox permet ainsi de placer le maxillaire par rapport au plan axio-orbitaire comme lors de l'utilisation d'un arc facial (figure 21). Pour finir, l'arcade mandibulaire est positionnée soit en OIM soit en RC sur l'articulateur virtuel [28].

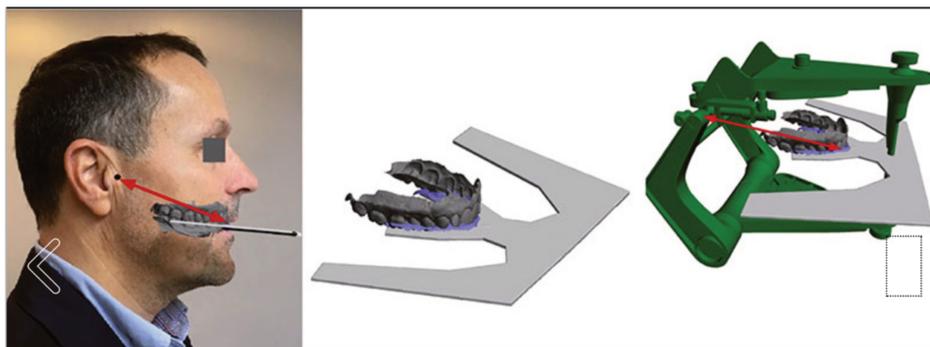


Figure 21: repositionnement du maxillaire scanné par rapport au plan axio-orbitaire par le biais du plan de Fox en bouche photographié de profil [28].

Cette technique, assez simple d'utilisation, permet d'avoir un montage virtuel personnalisé sans passer par un montage mécanique. Des études sont nécessaires pour évaluer l'exactitude et la fiabilité de cette technique.

2.4.3.2 L'utilisation d'un scanner facial

Cette approche numérique, présentée par Solaberrieta et al, utilise un dispositif (figure 22) pour aligner le scan intra-oral sur le scan facial 3D, puis transférer l'arcade maxillaire numérique sur un articulatoire virtuel en faisant correspondre les 6 repères crâniens du visage [29]. L'arcade mandibulaire est automatiquement transférée sur l'articulatoire par *matching* avec l'enregistrement de l'occlusion statique précédemment réalisé.



Figure 22 : scanner facial (Solaberrieta et al).

Dans une autre étude, Solaberrieta compare la précision de ce dispositif avec la méthode conventionnelle, par arc facial, dans le transfert du modèle maxillaire vers un articulatoire virtuel. Dans la méthode traditionnelle, le montage physique est scanné pour être ensuite « monté » sur articulatoire virtuel. L'écart moyen sur les surfaces occlusale était de 0,752mm et l'écart type était de 0,456mm. L'écart est faible, ce qui permet son utilisation à des fins orthodontiques mais la précision est insuffisante pour être utilisée dans d'autres domaines dentaires. Cette approche doit encore être améliorée [30].

2.4.3.3 L'utilisation du CBCT pour un montage précis

L'apparition du Cone Beam (CBCT) dans la pratique dentaire a révolutionné l'imagerie, que ce soit en implantologie, en ODF ou encore dans d'autres disciplines. Celui-ci permet d'avoir un repositionnement 3D des structures osseuses avec une grande précision et avec moins d'irradiation qu'un scanner, en effet selon la HAS, plusieurs études ont prouvé que les mesures céphalométriques effectuées par CBCT étaient comparables à celles réalisées par céphalométrie conventionnelle [31].

Le CBCT peut aussi être utilisé pour positionner l'arcade maxillaire sur l'articulateur virtuel (figure 23), cette technique est facilement disponible dans les cabinets dentaires, elle nécessite un Cone Beam et un scanner intra-oral [26].

Les différentes étapes sont les suivantes :

- réaliser le CBCT au patient avec un grand champs comportant les os maxillaires, le méat acoustique externe ainsi que le point sous orbitaire, puis exporter le fichier au format DICOM,
- réaliser l'acquisition des arcades et de l'occlusion à l'aide d'une empreinte optique et l'exporter au format STL,
- convertir le fichier DICOM en modèle 3D et l'exporter au format STL avec un logiciel comme 3D slice® ou BlueSky Bio®,
- importer le modèle 3D du crâne dans un logiciel d'édition de fichier STL, indiquer l'axe charnière de la mandibule,
- charger le fichier 3D du crâne modifié ainsi que celui les arcades dans un logiciel de CAO comme Exocad®, et superposer le modèle maxillaire sur les os maxillaires du crâne,
- superposer le plan de axio-orbitaire avec la branche montante de l'articulateur virtuel,
- transférer l'arcade mandibulaire à l'aide de l'enregistrement de l'occlusion précédemment réalisé



Figure 23 : positionnement du crâne sur l'articulateur virtuel après alignement du modèle maxillaire sur le CBCT [26].

Pour évaluer la précision de cette technique, les auteurs ont comparé le montage virtuel par la technique du CBCT avec deux autres enregistrements utilisant deux arcs faciaux physiques, un avec l'arc facial traditionnel du modèle Artex® (Amann Girrbach®) et un avec un arc facial cinématique de type CADIAX® (Gamma Dental®)

sur un même patient (figure 24). Après les montages sur articulateur, ceux-ci ont été scannés.

Le montage utilisant le CADIAX® étant l'étalon, en superposant la dentition maxillaire, les écarts de l'axe des charnières de la technique CBCT et celle de l'arc facial ont été calculés. Pour la technique utilisant le CBCT, les mesures sont :

- une déviation angulaire de 0,44 °,
- une déviation condylienne gauche de 3,78 mm,
- une déviation condylienne droite de 4,23 mm.

Pour celle utilisant l'arc facial :

- une déviation angulaire de 0,53 °,
- une déviation condylienne gauche de 5,94 mm,
- un déviation condylienne droite de 6,20mm.

Selon cette étude, la technique CBCT est donc plus précise que celle utilisant un arc facial traditionnel mais d'autres études sont nécessaires pour compléter ses résultats [26].

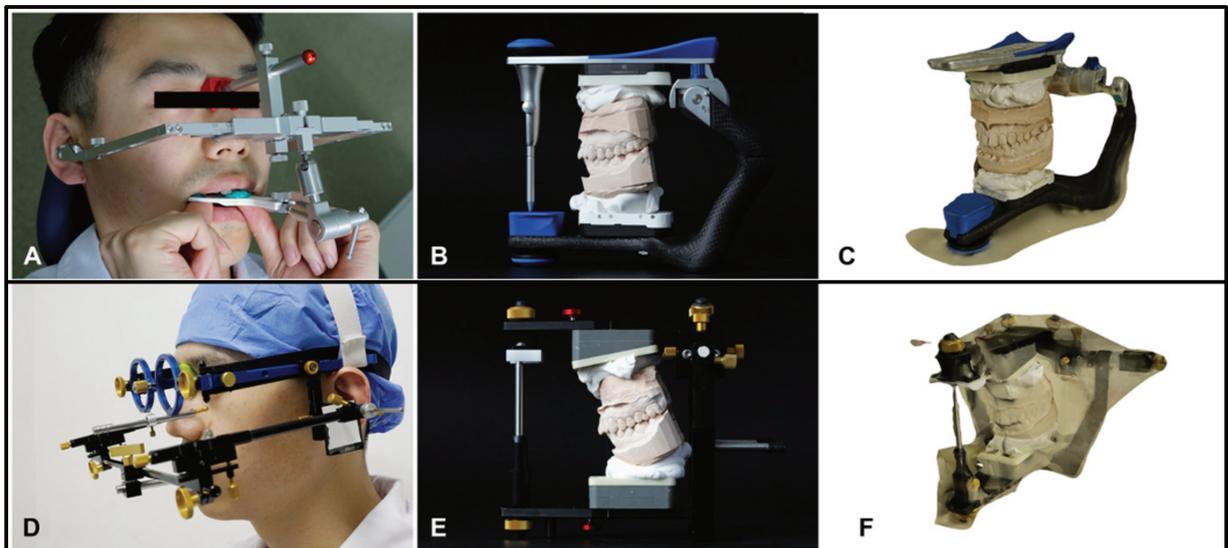


Figure 24 : comparaison des montages utilisant l'Artex® (A,B,C) et le Cadiax® (D,E,F) [26].

Cette technique permet de rester dans la chaîne numérique et de garder une grande fiabilité de positionnement. Elle permet d'éviter une certaine imprécision résultant de l'assemblage des composants mécaniques de l'arc facial et de la déformation de matériau en cire ou en plâtre.

Cependant, elle ne peut être réalisée sans avoir une indication de CBCT. En effet, la réalisation d'un examen radiographique doit être justifiée et doit respecter les règles

de radioprotection dont le principe ALADA (As Low As Diagnostically Acceptable) [32,33]. Or, réaliser un CBCT dans l'unique but d'enregistrer la RIM d'un patient n'est pas justifié. Ici, le patient est irradié selon un grand champ [26], l'indication de la technique actuelle pourrait être :

- un traitement d'orthopédie donto-faciale ODF en remplaçant la panoramique dentaire et les téléradiographies [34],
- une chirurgie orthognatique [35],
- un cas interdisciplinaire qui nécessite un scanner CBCT avec un grand champ de vision [36],
- un CBCT réalisé dans le cadre d'une autre discipline médicale qu'il est possible de réutiliser.

2.4.3.4 L'utilisation de la stéréophotogrammétrie

La méthode basée sur ce procédé est présentée par Lam et coll. C'est un système constitué de deux portes empreintes (figure 25) dont l'un est en bouche sur l'arcade mandibulaire surmonté d'un silicone d'occlusion pour enregistrer les dents maxillaires, et l'autre, collé au premier, est hors bouche à la verticale. Le silicone d'occlusion permet de transférer le maxillaire précédemment scanné en intra-oral par rapport aux images 3D du visage en utilisant la stéréophotogrammétrie. Cette méthode a été comparée, sur un même patient, à un CBCT, la déviation était en moyenne inférieure à 1 mm [37].

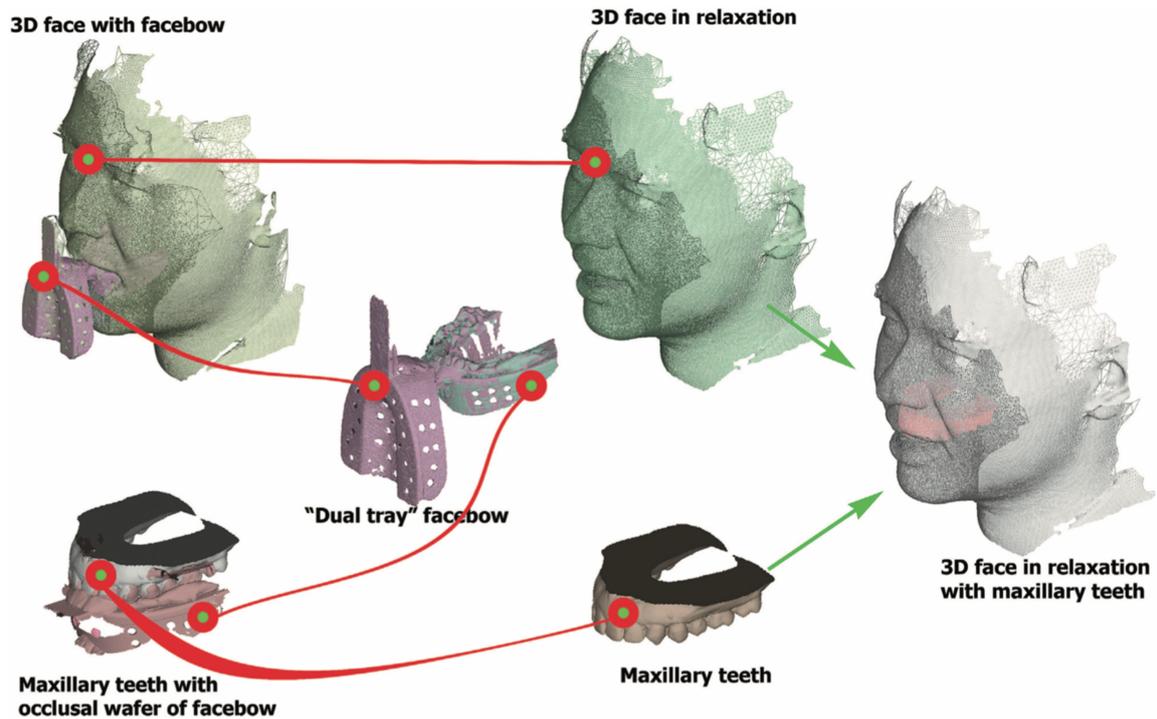


Figure 25 : schéma expliquant la méthode par stéréophotogrammétrie [37].

Récemment, de nouveaux dispositifs voient le jour, comme des outils d'enregistrement complémentaires de type arc facial numérique, voir même des systèmes d'enregistrement de la dynamique mandibulaire. Ces systèmes regroupent de nombreux avantages tels que « la fiabilité d'enregistrement », le respect du principe de radioprotection et la rapidité de réalisation. Ces derniers utilisent la technologie de la CFAO 4D .

3 L'apport de la CFAO 4D dans l'enregistrement de l'occlusion dynamique

3.1 Définition de la quatrième dimension

La notion de quatrième dimension apparaît pour la première fois dans l'Encyclopédie, mentionnée par Jean le Rond d'Alembert, physicien du XVIII^{ème} siècle. Il dit « *Un homme d'esprit de ma connaissance croit qu'on pourrait cependant regarder la durée comme une quatrième dimension* » [38]. En effet, la quatrième dimension est le temps. Albert Einstein en parle également dans sa théorie de la relativité.

La CFAO 3D est bien connue dans les cabinets dentaires, cependant elle présente quelques limites notamment dans l'enregistrement dynamique du patient, c'est-à-dire de l'enregistrement des latéralités, des propulsions ou même de l'enveloppe masticatoire. Pour contrer cela, la CFAO s'enrichit de la quatrième dimension, celle du temps.

François Duret, avec Jean-Pierre Toubol, avait cité pour la première fois la CFAO 4D avec l'Access Articulator[®] en 1989 qui n'a finalement pas été commercialisé [39].

3.2 Exemple de différents dispositifs

Lepidi fait un résumé des différents dispositifs existants sur le marché en 2021 (tableau 6) :

Tableau 6: dispositifs existants en 2021[20].

Marque	Arc facial numérique	Technologie	Capacité d'exportation – importation
Zébris Medical [®]	Jaw Motion Analyser [®]	Ultrason	Ouvert
Zebris Medical [®]	JMAOptic [®]	Optique	Ouvert
Zirkozahn [®]	PlaneSystem [®]	Ultrason	Ouvert
Kavo Dental [®]	ARCUSdigma [®]	Ultrason	Ouvert
SAM [®]	SAM Axioquick [®]	Ultrason	Fermé
Amann Girrbach [®]	Zebris for Ceramill [®]	Ultrason	Fermé
Modjaw [®]	Modjaw	Optique	Ouvert

Ces dispositifs fonctionnent sur deux technologies différentes, soit sur la mesure des impulsions ultrasonores, soit sur la technologie optique [20].

3.2.1 3Shape Trios® : Patient Specific Motion®

La caméra optique Trios de 3Shape® permet d'enregistrer l'occlusion dynamique sans autre dispositif par l'application Patient Specific Motion® intégrée dans le logiciel [40]. Le praticien réalise l'enregistrement de l'occlusion statique puis dans un second temps, enregistre les mouvements des arcades du patient par la face vestibulaire des dents antagonistes (figure 26).

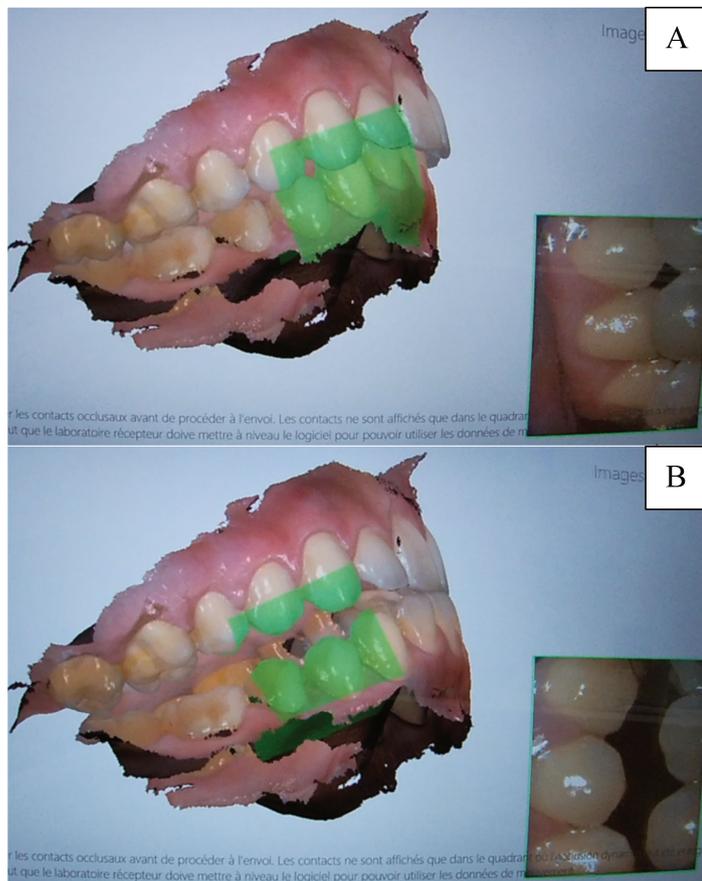


Figure 26 : prise de l'occlusion dynamique par le Patient Specific Motion®, (A) en OIM, (B) en propulsion (photographie personnelle).

Dans une étude comparative réalisée par Lee [41], la technologie Patient Specific Motion® (PSM) est comparée à la prise d'occlusion statique par voie vestibulaire uniquement, sur 15 patients traités par couronnes postérieures en zircone.

La surface occlusale des restaurations, après ajustement en bouche, a été comparée selon 3 procédés afin d'évaluer l'erreur de l'adaptation occlusale :

- un procédé basé uniquement sur l'occlusion statique par voie vestibulaire (OS),
- un procédé par le PSM,
- un procédé avec un ajustement utilisant un articulateur semi-adaptable.

Selon les résultats, les restaurations postérieures simples réalisées à l'aide du PSM présentaient moins de retouches nécessaires en bouche par rapport aux deux autres procédés [41].

L'étude de Buduru, dont l'objectif est d'identifier la méthode optimale pour l'analyse de l'occlusion, compare la sensibilité de l'examen d'occlusion statique et dynamique de 3 méthodes différentes : cliniquement, par articulateur semi-adaptable et par articulateur virtuel de 3Shape®. Les meilleures correspondances étaient obtenues en comparant les méthodes cliniques et l'articulateur physique (85,25% de correspondance), Il y avait 73,25% de correspondance entre la méthode clinique et la 3Shape® [42].

C'est un procédé séduisant, rapide et efficace cliniquement mais limité au restauration de petite étendue. Dans des restaurations plus importantes, un dispositif externe est nécessaire [43]. Il ne permet pas d'enregistrer les déterminants postérieurs de l'occlusion.

3.2.2 Sicat® : JMT +®

Le JMT® (figure 27) est un appareillage extérieur qui mesure les déplacements mandibulaires via les ultrasons. Le patient porte un arc facial électronique qui enregistre, par le biais de capteurs et d'émetteurs, les mouvements de la fourchette mandibulaire. Il mesure le temps parcouru par les ondes entre deux points. Ainsi la position mandibulaire est enregistrée de façon statique et dynamique par rapport au PAO en fonction du temps.

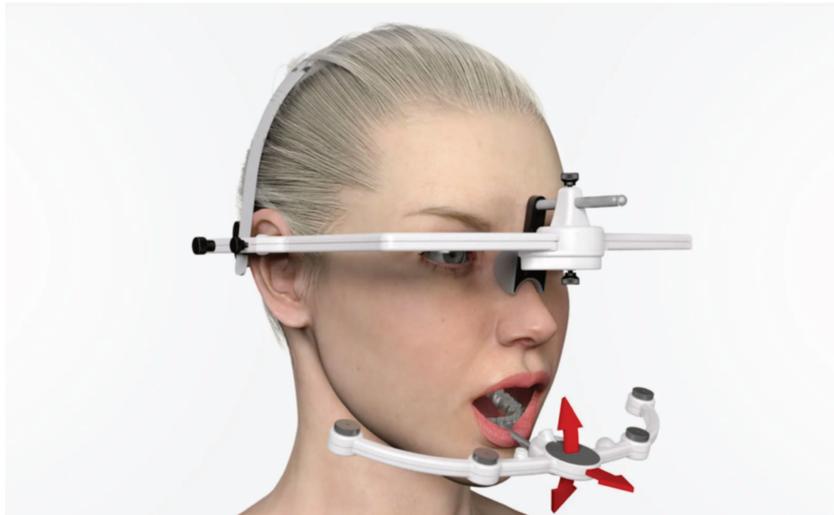


Figure 27 : illustration du JMT (Sicat®).

Une étude de Kühnöl et Kordaß porte sur le système JMT Sicat® utilisé pour une réhabilitation prothétique de grande étendue avec modification de l'occlusion chez un patient présentant des troubles articulaires de l'ATM. Ce système s'est révélé d'une grande utilité dans le diagnostic ainsi que dans la thérapeutique [44].

Le patient de 59 ans présentait des douleurs matinales, au réveil, bilatérales à proximité des oreilles ainsi que des hypersensibilités dentinaires sur toutes les dents avec 18/28/36/48 manquantes non remplacées. Étant donné les symptômes articulaires présentés par le patient, non visibles sur l'orthopantomogramme, un CBCT a été réalisé ainsi que l'utilisation du JMT de Sicat®.

Les dents 17 et 27 mésioversées et leurs antagonistes (38 et 48) fonctionnent comme des leviers. Ces deux interférences ont aussi été révélées lors du mouvement condylien pendant la fonction. Cette interférence doit vraisemblablement se produire lors de la parafonction nocturne et être à l'origine des douleurs.

Le plan de traitement était donc d'utiliser des méthodes additives pour équilibrer l'occlusion en 3 étapes :

- pose d'une gouttière maxillaire centrée
- livraison des table-tops temporaires
- livraison des table-tops définitives

Après chacune de ces étapes, les déplacements ont été suivis avec le JMT+®, cela a permis d'évaluer les différentes étapes du traitement et leurs résultats respectifs, les paramètres cliniques ont également été évalués.

Ainsi le JMT+[®], associé à la représentation des ATM dans le Galileos 3D[®], permet de simuler virtuellement les mouvements masticatoires avec le port de la gouttière, encore virtuelle, pour visualiser l'amélioration des trajectoires de mouvements afin de confectionner cette dernière et de la tester ensuite cliniquement. Le patient a signalé que ses symptômes avaient été considérablement soulagés par le port de la gouttière occlusale. Les tables-tops ont ensuite été réalisés. Le patient ne présentait plus de douleurs ni d'hypersensibilité à la fin de son traitement [44].

Une autre étude compare l'enregistrement de l'occlusion et la position des condyles par le Sicat[®] avec les données d'un CBCT chez un patient sur 3 jours. Les enregistrements des mouvements mandibulaires du patient étaient similaires sur 3 jours différents. La position condylienne simulée par Sicat[®] correspondait à la position réelle du condyle par les données CBCT ainsi que l'ouverture buccale [45].

3.2.3 Zebris JMAOptic[®]

Contrairement au dispositif Sicat[®], le Zebris[®] se base sur la technologie optique et non ultrasonique. Le Zebris[®] (figure 28) utilise la stéréoscopie ou triangulation optique pour enregistrer la position mandibulaire lors du mouvement.

Il est équipé de deux caméras portées sur le visage (sur le *Face Bow*) qui enregistrent les mouvements de la LED (diode électroluminescente) infrarouge intégrée dans la fourchette mandibulaire. Lorsque le capteur de la mâchoire inférieure bouge, le *Face Bow* enregistre une image légèrement déformée de la LED. Ces distorsions sont utilisées pour calculer les coordonnées de la mâchoire inférieure dans l'espace.

Il s'agit d'un d'arc facial numérique permettant d'enregistrer la position statique du maxillaire par rapport au PAO mais également de la cinétique mandibulaire et ainsi des déterminants postérieurs. Les mouvements masticatoires peuvent également être analysés en incluant la force et la fréquence des points de contact [18].

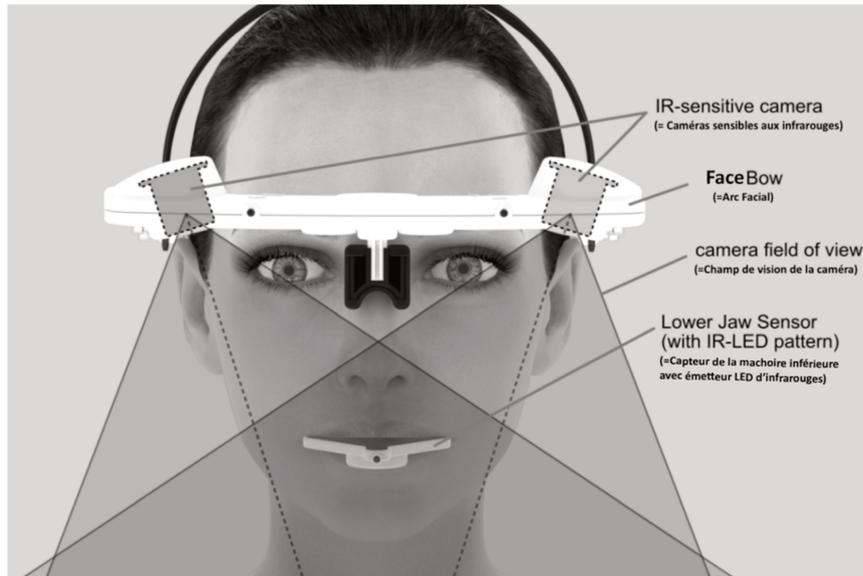


Figure 28 : schéma explicatif du Zebris (Amann Girschbach®)

3.3 Le dispositif Modjaw® Tech in Motion

3.3.1 Présentation du dispositif

Le dispositif Tech in Motion de Modjaw® a été présenté lors de l'IDS de 2017 à Cologne. Cette start up française, créée par Jaisson et Rodrigue, commercialise le dispositif depuis 2019.

Il ne permet pas de réaliser l'acquisition comme en CFAO 3D mais permet d'y ajouter la 4^{ème} dimension. Il faut donc d'abord réaliser la prise d'empreinte optique des deux arcades avant de l'utiliser.

Le chariot (figure 29) est composé d'un large ordinateur tactile de 21 pouces et d'une caméra optique de tracking de haute résolution avec 60 images par seconde. Le patient porte un arc péri-crânien et une fourchette para-occlusale (figure 30), il réalise ensuite les mouvements souhaités devant la caméra (figure 31).



Figure 29 : le chariot M-JEE (photographie personnelle).



Figure 30 : l'arc facial (photographie personnelle).



Figure 31: en cours d'enregistrement de l'occlusion dynamique avec le Modjaw[®] (photographie personnelle).

3.3.2 Fonctionnement du Modjaw®

Après l'acquisition optique et l'installation du système Tech in motion®, le patient réalise différents mouvements choisis par le praticien, celui-ci voit sur l'écran les arcades bouger (les fichiers STL 3D) en même temps que le patient (figure 32). Tout la cinématique mandibulaire peut aussi être visionnée ultérieurement.

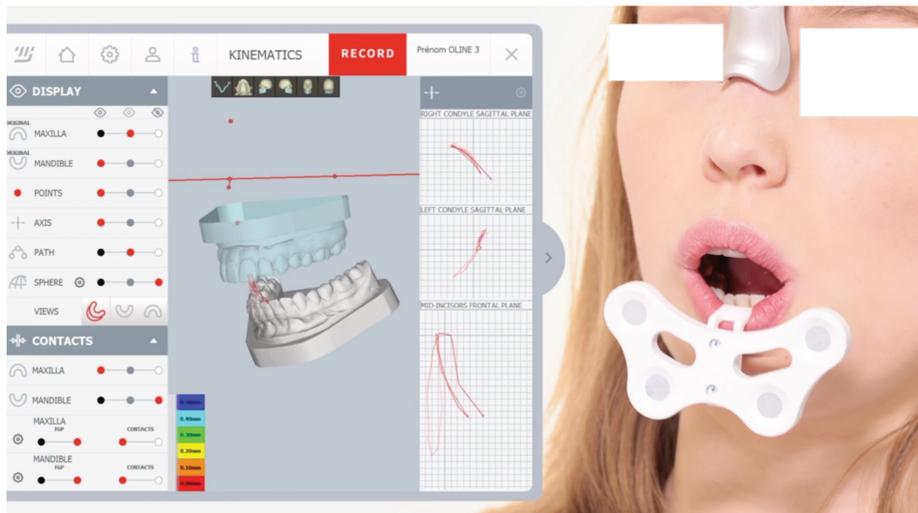


Figure 32 : enregistrement de la cinématique en cours (Modjaw®).

Déroulement de la séance :

- acquisition des arcades par empreinte optique (figure 33A) puis importation des fichiers STL dans le Modjaw®,
- calibration du casque (ou diadème) (figure 33B) et installation sur le patient
- fixation de la fourchette mandibulaire à l'aide d'une résine chémo ou photopolymérisable sur la mandibule (figure 33C) puis ajout du papillon sur la fourchette,
- pointage des repères anatomiques faciaux : condyles et point sous nasal avec le palpeur (figure 33D),
- pointage des repères dentaires (présélectionnés en amont sur les arcades scannées) pour effectuer la calibration avec les modules 3D (figure 33E),
- Enregistrement de la cinématique mandibulaire et calcul des déterminants postérieurs (figure 33F),
- Visionnage illimité de la cinématique post enregistrement,

- Exportation vers un logiciel de conception type Exocad®.

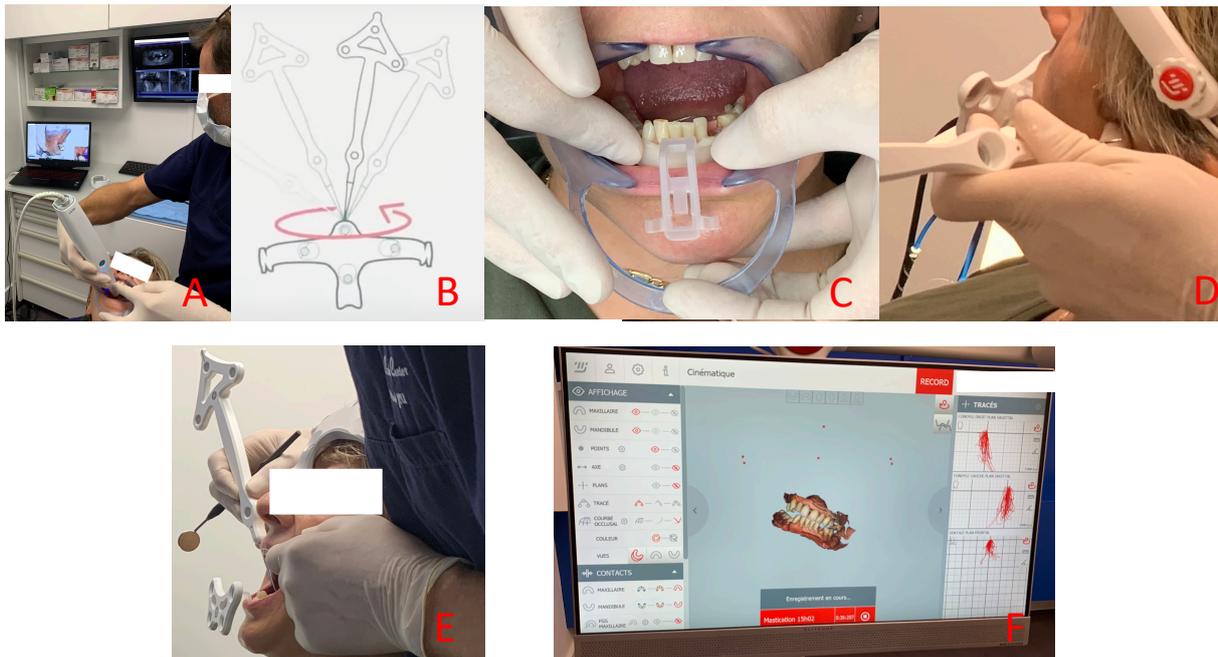


Figure 33 : description d'une séance d'enregistrements de la cinématique mandibulaire à l'aide du Modjaw®. A : acquisition, B : calibration, C : fixation de la fourchette, D : pointage des repères faciaux, E : pointage des repères dentaires, F : enregistrement de la cinématique mandibulaire avec le Modjaw® (photographies personnelles).

3.3.3 Applications cliniques

Les inventeurs et cofondateurs ont présenté les différentes applications cliniques du Tech in Motion® [43] .

3.3.3.1 Diagnostics

Le Tech in Motion® permet, en quelques minutes, d'enregistrer et de mesurer :

- la cartographie dynamique des contacts, l'angle de Bennet, la pente condylienne,
- le plan axio-orbitaire.

Il permet également de repérer :

- les anomalies de guidage,
- les prématurités,
- les interférences,
- les malocclusion,

- les dysfonctionnements cranio-mandibulaires,
- les usures.

3.3.3.2 Thérapeutiques

Toutes les données acquises lors du stade de diagnostic sont utilisées pour permettre des soins personnalisés et les plus adaptés possibles, dans la dentisterie restauratrice, prothétique ou orthodontique. Les possibilités couvrent progressivement tous les champs d'application de l'odontologie [46]. Il est possible, par exemple, de simuler une équilibration, de simuler l'occlusion après la CAO des pièces prothétiques ou d'un traitement d'ODF.

Jaisson et Rodrigue prennent l'exemple d'une réhabilitation prothétique complexe comme des prothèse fixées sur implants pour montrer son utilité :

- d'un point de vue esthétique : trouver la bonne orientation du plan d'occlusion,
- d'un point de vue mécanique : répartition des charges occlusales dans l'occlusion dynamique et statique, afin de garantir la durée de vie des implants et des prothèses,
- pour programmer l'articulateur virtuel sur un logiciel CAO en confirmant le projet prothétique et implantaire.

Rabiey et Chamieh illustrent son utilisation chez une patiente (figure 34) atteinte d'une parodontite généralisée stade 4 grade A avec une perte de DVO dont la conservation des dents n'est pas retenue et où une prothèse supra implantaire fixée est envisagée en mise en charge immédiate [47,48].



Figure 34 : photographie intrabuccale de la situation initiale [48].

Le système virtualise la patiente en combinant les données extra- et intra-orales à l'aide d'une acquisition optique intra-buccale, d'un CBCT, de l'enregistrement du Modjaw® ainsi que d'un scanner facial à l'aide de Bellus 3D pro®.

Le Modjaw® permet notamment l'enregistrement de l'occlusion statique en relation centrée ainsi que de l'occlusion dynamique mais également de valider l'augmentation de DVO de 5mm enregistrée à l'aide d'une maquette. La réalisation d'un wax up virtuel ainsi que sa visualisation sur le scanner facial est ensuite possible (figure 35).

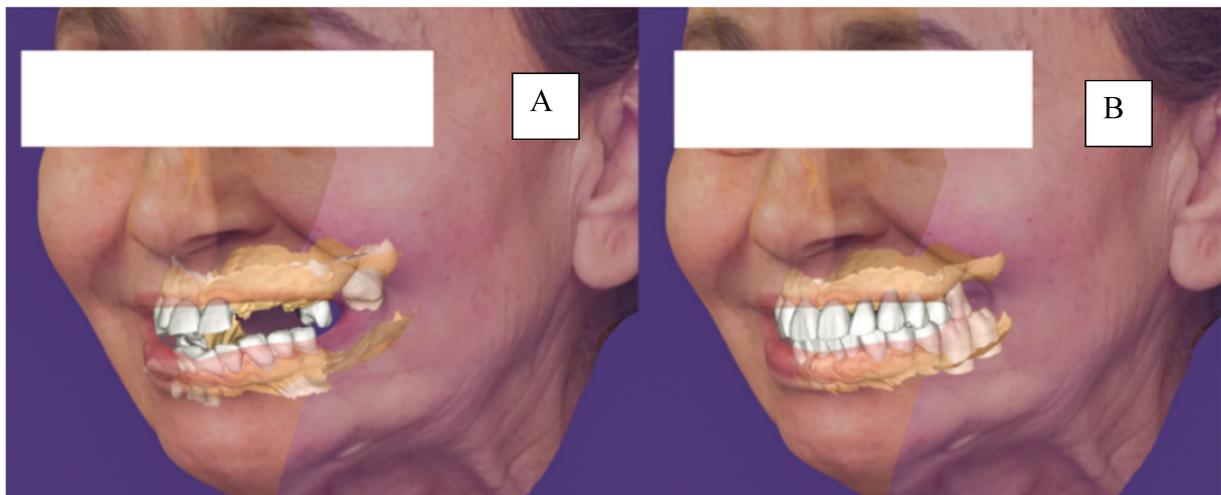


Figure 35 : superposition des données avec l'augmentation de DVO de 5mm (A) et la réalisation du wax up virtuelle en CAO (B) [48].

Après validation du projet prothétique et implantaire par le patient et le chirurgien-dentiste, les guides chirurgicaux, les prothèses par CFAO et la phase chirurgicale peuvent être entrepris pour un résultat final très satisfaisant (figure 36) [48].



Figure 36 : photographie du sourire après le traitement [48].

Un autre cas clinique illustre son utilisation dans la planification et la réalisation d'un bridge supra implantaire maxillaire.

La patiente (figure 37) consulte pour un motif esthétique et fonctionnel, elle souffre de forte mobilité avec des difficultés à la mastication. Sur la reconstitution du CBCT, on voit l'alvéolyse avancée du maxillaire supérieure à 50%.

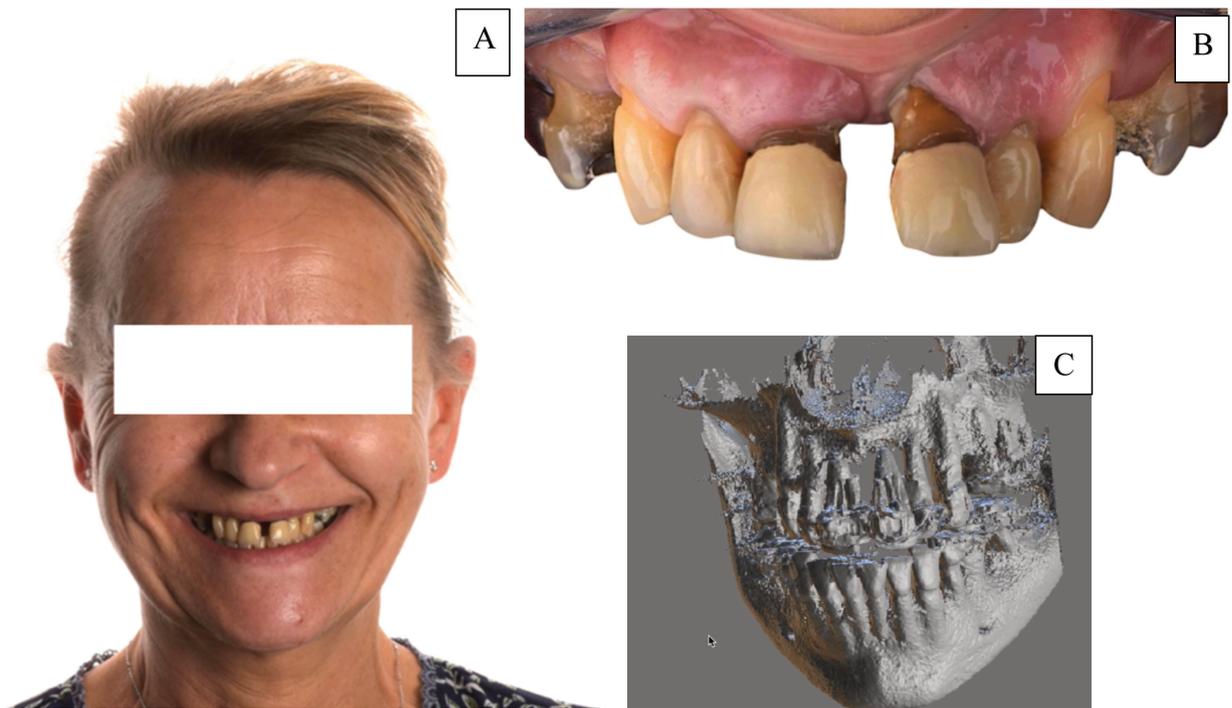


Figure 37: photographies de la patiente extrabuccale de face (A), intrabuccale vue maxillaire (B), de son CBCT (C) avant traitement (courtoisies de A. Jeu).

Le plan de traitement au maxillaire consiste en une extraction – implantation et mise en charge immédiate, à la mandibule un traitement parodontal non chirurgical sera entrepris pour conserver ses dents. Au niveau de l'analyse de la face, les trois étages sont égaux, il n'est donc pas nécessaire d'augmenter la DVO.

Après avoir réalisé l'empreinte optique des arcades en 3D, l'exportation, la calibration et l'enregistrement de la dynamique mandibulaire à l'aide du Modjaw[®], l'analyse de la cinétique révèle (figure 38):

- en propulsion :
 - un guidage antérieur prise en charge uniquement par la 22 et 23,
 - une interférence sur 34,
- en latéralité droite :

- une fonction de groupe,
- une interférence travaillante sur 12,
- des interférences non travaillantes sur 25,26,
- en latéralité gauche :
 - une fonction de groupe,
 - une interférence travaillante sur 22,
 - des interférences non travaillantes sur 16,17.

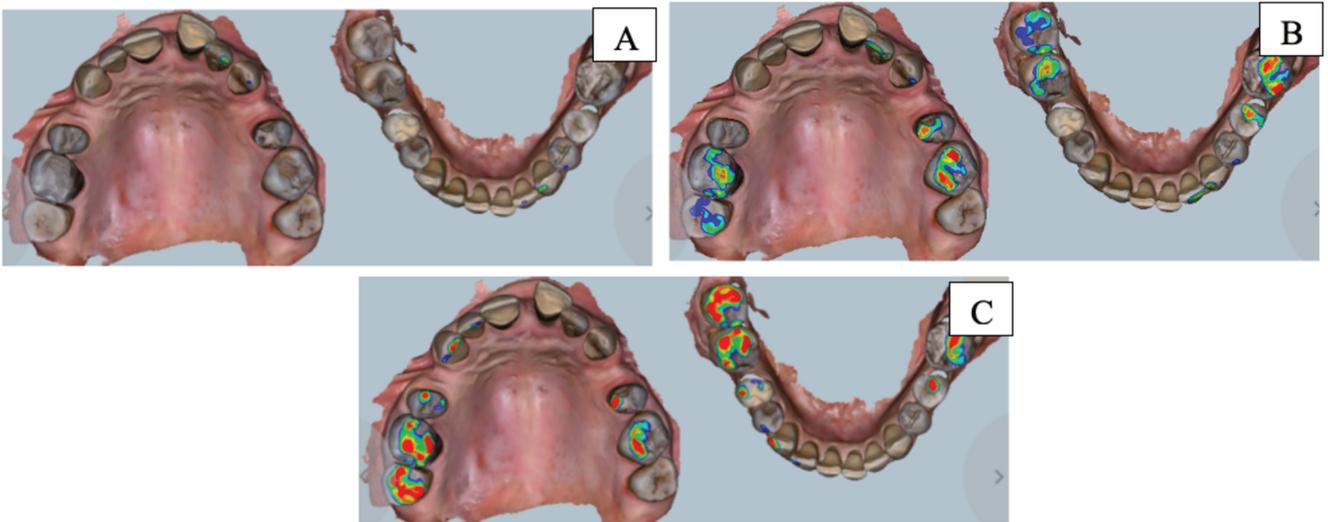


Figure 38 : images des contacts dentaires en propulsion (A), en latéralité gauche (B) et droite (C) enregistrées par le Modjaw® (courtoisies de A. Jeu).

L'exportation du fichier Modjaw® dans le format extensible markup language (XML) est envoyé au prothésiste, celui-ci confectionne sur les photographies un aperçu 2D esthétique du résultat final via SmileCloud® (figure 39).



Figure 39 : patiente avant (A) et après aperçu SmileCloud du projet esthétique (B) (courtoisies de A. Jeu).

Sur exocad®, il effectue un Wax up virtuel en convertissant l'aperçu 2D en 3D, celui-ci est matché par des points de correspondance avec les fichiers STL de l'empreinte scannée (figure 40).

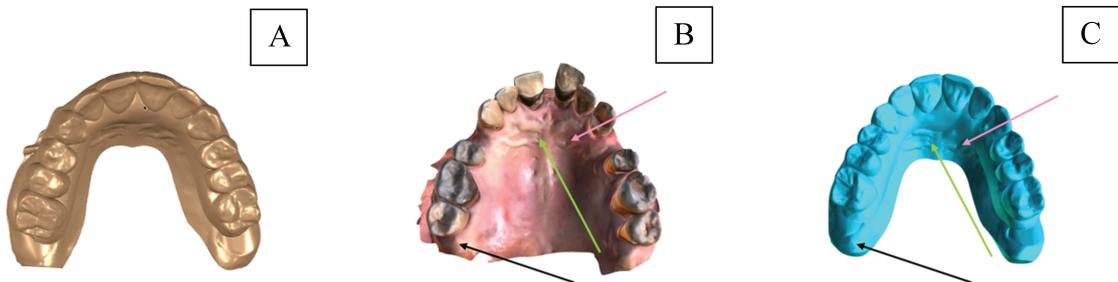


Figure 40 : images du Wax Up 3D (A) et des points de correspondance avec le fichier STL (B,C) (courtoisies de A. Jeu).

Le Wax Up est ajusté et vérifié virtuellement sur la cinématique mandibulaire enregistrée par le Modjaw®, en supprimant les interférences et en restaurant un guidage antérieur et une protection en latéralité. En réalisant cette opération, le wax up est converti en 4D (figure 41).

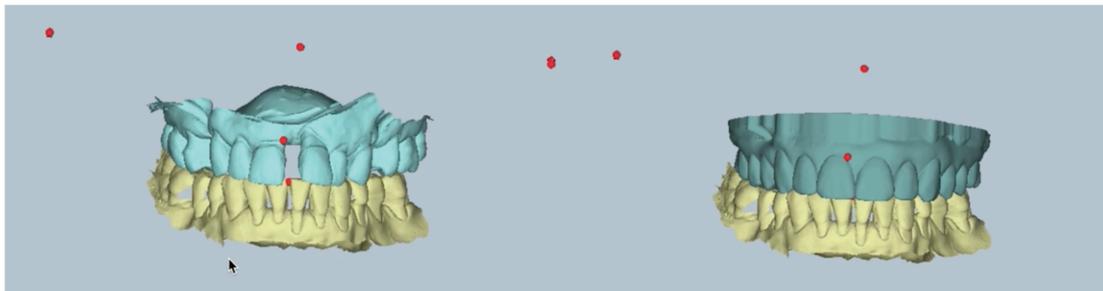


Figure 41: essaiage du Wax up avec la cinétique mandibulaire de la patiente (courtoisies de A. Jeu).

La prochaine étape consiste à coupler le Wax up avec les bases osseuses de la patiente sur le CBCT afin de concevoir la planification prothétique et implantaire (figure 42).

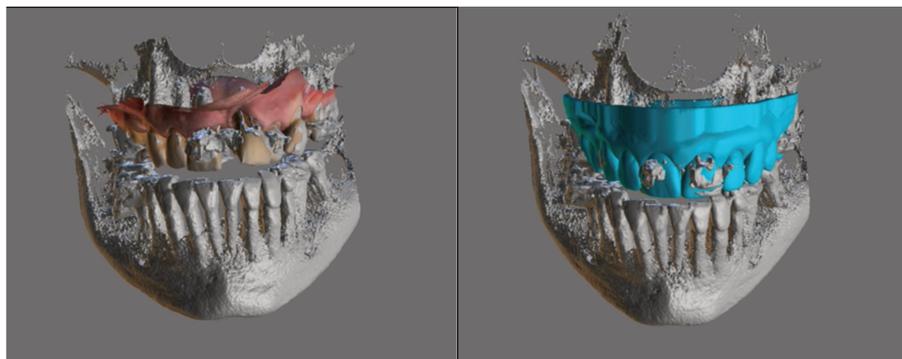


Figure 42 : matching du Wax Up sur le CBCT (courtoisies de A. Jeu).

Ces 6 implants sont positionnés en respectant les règles implantaire et les structures anatomiques sur le CBCT (figure 43), 4 implants antérieurs et 2 postérieurs qui longent la paroi antérieure du sinus maxillaire. La position des implants par rapport au projet prothétique virtuel est visualisable.

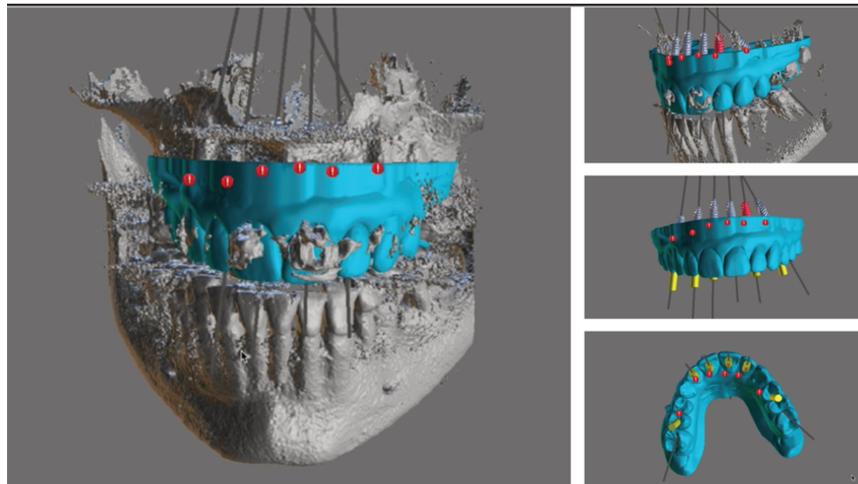


Figure 43 : positionnement implantaire en fonction du CBCT et du projet prothétique (images du Dr Jeu)

A partir de ce moment, le laboratoire confectionne le guide chirurgical mixte, à appui muqueux et dentaire. Le fait de conserver quelques dents pour la pose permet d'être plus précis dans le positionnement du guide, celui-ci est fixé à l'aide de douilles de fixation palatines. Il est également possible d'avoir le provisoire en amont de l'intervention usiné en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) avec les perforations des implants et des douilles palatines pour positionner le provisoire dans la même position que sur la planification (figure 44).

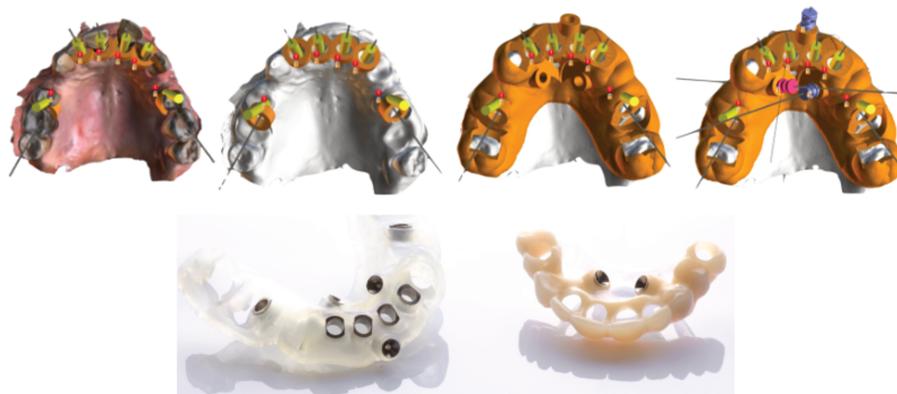


Figure 44 : conception du guide chirurgical et de la prothèse provisoire (courtoisies de A. Jeu).

S'ensuit la phase chirurgicale avec la pose implantaire et la mise en charge immédiate du provisoire en PMMA (figure 45). Pour la mise en charge, il positionne le provisoire à l'aide des douilles de positionnement palatines et le fixe aux piliers supra-implantaires à l'aide d'une résine polymérisable. Le provisoire est déposé afin d'éliminer les douilles et de réaliser les finitions.



Figure 45: pose du guide chirurgical et de la prothèse provisoire (courtoisies de A. Jeu).

Voici le résultat final du provisoire en bouche 24 heures après l'intervention (figure 46).



Figure 46 : situation initiale (A) et en cours de traitement avec le provisoire en bouche (B) (courtoisies de A. Jeu).

Un nouvel enregistrement de la fonction mandibulaire est réalisé avec le provisoire pour vérifier la propulsion et les latéralités. Un guidage antérieur pris en charge par 12, 11, 21 en propulsion avec l'absence d'interférence est obtenu (figure 47).

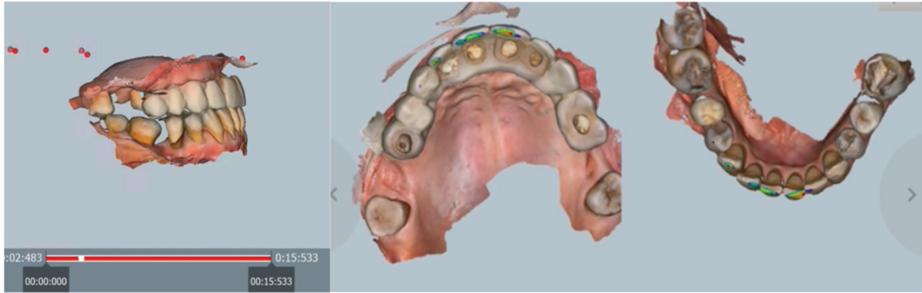


Figure 47 : image des contacts dentaire en propulsion avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).

L'enregistrement révèle une latéralité gauche en fonction de groupe 23, 24 sans interférence (figure 48) et une latéralité droite en fonction canine sans interférence. La comparaison de la latéralité droite modélisée sur le wax up 4D et celle enregistrée après la mise en charge sont identiques (figure 49).

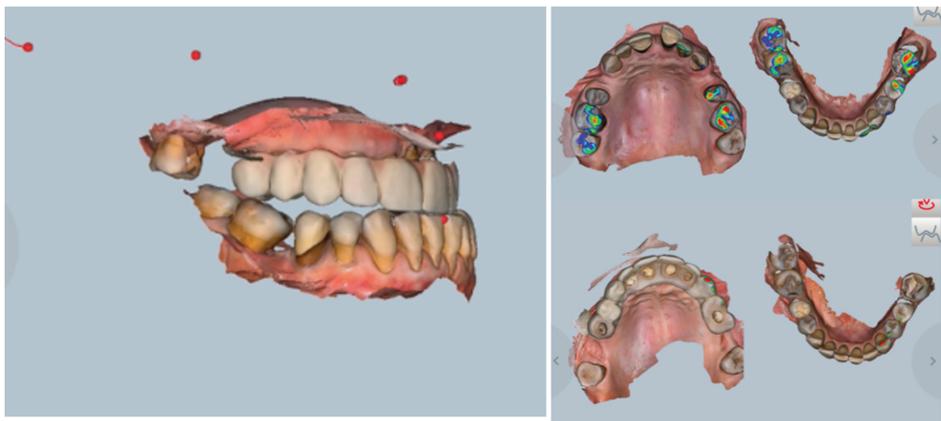


Figure 48 : image des contacts dentaire en latéralité gauche avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).

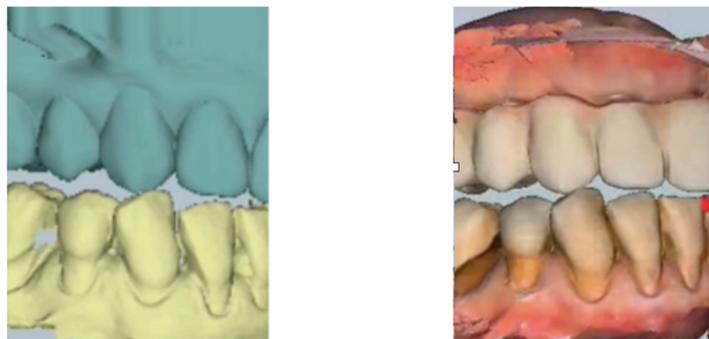


Figure 49 : image des contacts dentaire en latéralité droite avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).

La patiente retrouve, en cours de traitement, un résultat esthétique ainsi qu'une mastication bilatéralement équilibrée (figure 50).

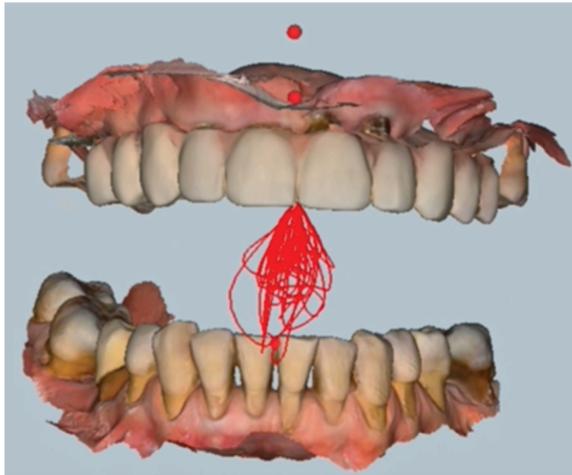


Figure 50 : enregistrement de l'enveloppe masticatoire avec le Modjaw[®] (courtoisies de A. Jeu).

3.3.3.3 Les avantages du Modjaw[®]

En restant dans le flux numérique, que ce soit le praticien ou le laboratoire qui effectue la pièce de restauration, le dispositif permet un gain de temps dans la prise en charge du patient [49].

De plus, par rapport à un arc facial traditionnel, le Modjaw[®] est plus agréable pour le patient.

On peut tester virtuellement les restaurations, en amont de la réalisation irréversible des actes intra-buccaux, ce qui diminue le temps d'occupation au fauteuil.

Le Modjaw[®] sert également de dispositif pédagogique, le patient peut visualiser et comprendre ses pathologies ce qui augmente l'acceptation du patient au traitement proposé [50].

3.3.3.3.1 L'enregistrement de la relation centrée

Lors de l'enregistrement de la relation centrée par une technique traditionnelle, l'utilisation de matériaux déformables interposés entre les arcades, la coulée des empreintes et la variabilité inter-, voir intra-praticien montre une certaine imprécision [45]. De plus, le montage sur articulateur mécanique doit ensuite être réalisé, ce qui est chronophage.

En utilisant le Tech in Motion[®], le montage s'effectue automatiquement après l'enregistrement de la RC sans matériau, avec les déterminants de l'occlusion car il utilise directement le patient comme « articulateur ». Il permet de ne pas encombrer la bouche et de ne pas perturber la proprioception du patient. Il est ainsi possible de visualiser dans la même séance les prématurés ou les contacts dento-dentaires.

3.3.3.3.2 L'accessibilité du logiciel avec les logiciels de CAO

Le logiciel est ouvert donc compatible avec les logiciels de CAO tel que Exocad[®] ou 3Shape[®] [43]. Concernant le logiciel Exocad[®], l'exportation des fichiers se fait sous le format XML et permet de rejouer la dynamique dans Exocad[®].

Pour le 3Shape[®] et les autres logiciels, le Modjaw[®] exporte sous le format STL et limite son utilisation à la création d'un FGP, ce qui permet tout de même de supprimer les interférences et d'équilibrer l'occlusion.

3.3.3.3.3 La visualisation

Sur les dispositifs Sicat JMT+[®] et Zebris JMA[®], les déplacements mandibulaires ne sont retranscrits à l'écran que sous la forme d'un avatar 3D, contrairement au Modjaw[®] où les mouvements en temps réel peuvent être visualisés à partir des fichiers STL du patient [43]. Ces deux premiers ont pour fonction de pouvoir exporter les informations enregistrées au format XML dans un logiciel de conception.

3.3.3.4 Les limites du Modjaw[®]

Comme dit précédemment, l'exportation, dans un logiciel CAO autre qu'Exocad[®], ne se limite qu'au format STL et non XML. Les créateurs travaillent encore pour modifier cette prise en charge des fichiers [43].

3.4 Les avantages de la CFAO 4D

Le principale avantage de la CFAO 4D est de rester dans le chaîne numérique tout en ayant la possibilité de réaliser un montage personnalisé. Il n'est plus nécessaire de passer par un double montage, physique puis virtuel. Les données sont directement

transférées sur l'articulateur virtuel avec une grande qualité de simulation [49]. C'était le chaînon manquant de la chaîne numérique. Toute l'enveloppe masticatoire du patient est enregistrée avec les déterminants antérieurs et postérieurs. Il est ainsi possible de réaliser des cas complexes de façon digitale tout en étant plus précis dans l'enregistrement, par la diminution des étapes (sources d'erreurs) et la précision des dispositifs digitaux [43].

Un autre avantage du « full digital », qui est mis en avant en cette période de pandémie du Covid 19, est la possibilité d'envoyer et de stocker les données du patient au cabinet ou au laboratoire, avec des empreintes dépourvues d'agents pathogènes. Malgré les protocoles de désinfection, il y a toujours un risque de contamination croisée qui existe avec les matériaux d'empreinte ou de prises d'occlusion physique [51].

3.5 Les limites et inconvénients de la CFAO 4D

Le coût de l'investissement pour le cabinet et pour le laboratoire reste encore élevé même si les prix tendent à diminuer.

Pour pouvoir utiliser un dispositif de la CFAO 4D, le praticien doit d'abord acquérir une caméra optique ou alors avoir des modèles qui sont scannés en amont. Il n'y a pas, à ce jour, de dispositif permettant de réaliser l'acquisition 3D et l'enregistrement dynamique des arcades ainsi que des déterminants postérieurs de l'occlusion.

4 Conclusion

Le concept de CFAO 4D ajoute le chaînon manquant au flux numérique en introduisant des mouvements spécifiques du patient. Le concept 4D sera un sujet majeur d'intérêt clinique et de recherche à venir [20].

Il est maintenant possible d'avoir un avatar numérique complet du patient, en effet, en fusionnant les fichiers issus du CBCT, de l'empreinte optique (3D) et de la 4D sur un scanner facial dans un logiciel de conception. Le plan de traitement est ainsi complètement adapté et personnalisé au patient car le praticien et le prothésiste réalisent les restaurations en fonction des données occlusales et esthétiques du patient et cela de façon numérique. Cet assemblage permet également de visualiser les projets esthétiques et de les valider avec le patient avant tout acte intrabuccal.

Pour le scanner facial, des applications sur Smartphone existent tel que Bellus 3D Dental Pro[®] qui utilisent l'appareil photo du téléphone pour réaliser un modèle 3D du visage.

Ainsi le « full digital » se développe de plus en plus au sein de notre pratique quotidienne, les prix deviennent plus abordables, il représente le futur de notre profession.

Références bibliographiques

1. Gaudy J-F, Charrier J-L, Bilweis C, Gorce T. Les muscles masticateurs et l'articulation temporo-mandibulaire. In: Anatomie clinique. Puteaux: Editions CdP; 2007. p. 157-86.
2. Zunzarren R, D'Incau E, Lasserre J-F, Bartala M, Soenen A. Prothèse : généralités. In: Guide clinique d'odontologie. 3^e éd. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2019. p. 217-26.
3. Laplanche O. Occlusion en prothèse fixée. In: Prothèse fixée - approche clinique. Puteaux: Editions CdP; 2017. p. 25-53.
4. Le Gall MG, Lauret J-F, Joerger R, Saadoun AP, Le Gall N, Picq PP. La fonction occlusale: implications cliniques. Puteaux: Éditions CdP; 2011.
5. Orthlieb J-D, Brocard D, Schittly J, Slavicek RP. Occlusodontie pratique. Rueil-Malmaison: Editions CdP; 2000. 213 p..
6. Duret F. L'aventure de la CFAO. In: La CFAO appliquée. Paris : Editions ESPACE id. 2014. p. 7-12.
7. Fages M. CFAO et prothèse fixée. In: Prothèse fixée - approche clinique. Puteaux: Éditions CdP. 2017. p. 153-74. .
8. Ender A, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods of obtaining complete-arch dental impressions. J Prosthet Dent. 2016;115(3):313-20.
9. Aragón MLC, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review. Eur J Orthod. 2016;38(4):429-34.
10. Patzelt SBM, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. Clin Oral Investig. 2014;18(6):1687-94.
11. Abduo J, Elseyoufi M. Accuracy of intraoral scanners: a systematic review of influencing factors. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2018;26(3):101-21.
12. Solaberrieta E, Garmendia A, Brizuela A, Otegi JR, Pradies G, Szentpétery A. Intraoral digital impressions for virtual occlusal records: section quantity and dimensions. Biomed Res Int. 2016;2016:7173824.
13. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. Dent Clin North Am. 2011;55(3):559-70.
14. Hollender M, Allard Y, Richelme J, Casu J-P. La CFAO indirecte. In: La CFAO appliquée. Paris: Editions ESPACE id. 2014. p. 13-20.

15. Soenen A. La CFAO semi-directe : principes et indications. In: La CFAO appliquée. Paris: Edition ESPACE id. 2014. p. 21-7.
16. Gastineau R. Comparaison entre la répartition des points d'occlusion proposée par le Cerec et les méthodes traditionnelles : étude in vivo. Université de Rennes 1; 2017.
17. Koralakunte PR, Aljanakh M. The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry. J Clin Diagn Res. 2014;8(7):25-8
18. Luthra RP, Gupta R, Kumar N, Mehta S, Sirohi R. Virtual articulators in prosthetic dentistry: A review. J Adv Med Dent Scie Res 2015;3(4):117-21.
19. Bisler A, Bockholt U, Kordass B, Suchan M, Voss G. The virtual articulator. Int J Comput Dent. 2002;5(2-3):101-6.
20. Lepidi L, Galli M, Mastrangelo F, Venezia P, Joda T, Wang H-L, et al. Virtual articulators and virtual mounting procedures: where do we stand? J Prosthodont. 2021;30(1):24-35.
21. Shivamurthy S, Nandeeshwar D, Saritha M. Virtual articulators : a future oriented technology. 2012; 1:98-101.
22. Jaisson M, Felenc S. Occlusion et CFAO. In: La CFAO appliquée. Paris: Edition Espace id. 2014. p. 37-46.
23. Mehl A. A new concept for the integration of dynamic occlusion in the digital construction process. Int J Comput Dent. 2012;15(2):109-23.
24. Cordelette M, Jordan-Combarieu F. Evolutions majeures de la CFAO directe. In: La CFAO appliquée. Paris: Edition ESPACE id. 2014. p. 29-36.
25. Ury E, Fornai C, Weber GW. Accuracy of transferring analog dental casts to a virtual articulator. J Prosthet Dent. 2020;123(2):305-13.
26. Lepidi L, Chen Z, Ravidia A, Lan T, Wang H-L, Li J. A full-digital technique to mount a maxillary arch scan on a virtual articulator. J Prosthodont. 2019;28(3):335-8.
27. Ferrín LM, Millán JR, Oltra DP, Diago MP. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update. Medicina oral, patología oral y cirugía bucal Ed inglesa. 2012;17:1.
28. Faure F, Meer FV, Duminil G. Proposition d'une méthode simple pour positionner des empreintes optiques dans un articulateur virtuel. L'Information Dentaire. 2019;10:20-7.
29. Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, Etxaniz O. Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator. J Prosthet Dent. 2013;109(6):411-4.
30. Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, Otegi JR, Szentpétery A. Comparison of the accuracy of a 3-dimensional virtual method and the conventional

method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. *J Prosthodont.* 2015;113(3):191-7.

31. Sainte-pierre F, Fanelli G, Mosnegutu L, Devaux F. Tomographie volumique à faisceau conique de la face - rapport d'évaluation technologique. Haute Autorité de Santé; 2009.

32. Horner K, O'Malley L, Taylor K, Glenny A-M. Guidelines for clinical use of CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(1):20140225.

33. Jaju PP, Jaju SP. Cone-beam computed tomography: Time to move from ALARA to ALADA. *Imaging Sci Dent.* 2015;45(4):263-5.

34. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(1):20140282.

35. Zizelmann C, Hammer B, Gellrich N-C, Schwestka-Polly R, Rana M, Bucher P. An evaluation of face-bow transfer for the planning of orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012;70(8):1944-50.

36. Benavides E, Rios HF, Ganz SD, An C-H, Resnik R, Reardon GT, et al. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: the International Congress of Oral Implantologists consensus report. *Implant Dent.* 2012;21(2):78-86.

37. Lam WYH, Hsung RTC, Choi WWS, Luk HWK, Pow EHN. A 2-part facebow for CAD-CAM dentistry. *J Prosthet Dent.* 2016;116(6):843-7.

38. Meyerson É. La Déduction relativiste [En ligne]. *Nouveau Monde*; 2013 [consulté le 29 mai 2021]. 426 p. Disponible sur: <https://www.numeriquepremium.com/content/books/9782369430193>

39. Duret F, Toubol J pierre. De l'articulaire au neuro-musculaire, de la mécanique à l'électronique : le concept de neuro-musculo-compatibilité. *Les cahiers de prothèse.* 1989;66:43-53.

40. Lanoiselée E. L'empreinte optique pour enregistrer l'occlusion [En ligne]. *Dentalespace.* 2019 [consulté le 29 mai 2021]. Disponible sur: <https://www.dentalespace.com/praticien/actualites/empreinte-optique-enregistrer-occlusion/>

41. Lee Y-C, Lee C, Shim J-S, Park J-M, Shin Y, Kim J-E, et al. Comparison between occlusal errors of single posterior crowns adjusted using patient specific motion or conventional methods. *Applied Sciences.* 2020;10(24):9140.

42. Buduru S, Finta E, Almasan O, Fluerasu M, Manziuc M, Iacob S, et al. Clinical occlusion analysis versus semi-adjustable articulator and virtual articulator occlusion analysis. *Med Pharm Rep.* 2020;93(3):292-6.

43. Casas T. Dentisterie numérique occlusion jaw motion : pourquoi le mouvement est la clé. *lefidentaire magazine dentaire* [En ligne]. 2020 [consulté le 3 nov 2020];

Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/dentisterie-numerique-occlusion-jaw-motion-pourquoi-le-mouvement-est-la-cle/>

44. Kühnöl C, Kordaß B. Digital workflow for TMD diagnostics and bite alteration: description of a case treated using Sicat Function. *Int J Comput Dent.* 2019;22(3):283-92.
45. 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.* 2016;6(1):113-9.
46. Fages M, Ducret M. L’empreinte optique... en toute simplicité. *Bmc j.* 2020;1:70-7.
47. Papapanou PN, Sanz M, Buduneli N, Dietrich T, Feres M, Fine DH, et al. Periodontitis: consensus report of workgroup 2 of the 2017 world workshop on the classification of periodontal and peri-implant diseases and conditions. *J Clin Periodontol.* 2018;45 (20):162-70.
48. Rabiey A, Chamieh F. Flux numérique complet au service de la mise en charge immédiate dans le cadre de réhabilitations globales. *Stratégie prothétique.* 2021;21(1).66-9
49. Jaisson M, Felenc S. Comprendre la CFAO 4D. *L’Information Dentaire.* 2018; 3:18-23.
50. Felenc S, Jaisson M. Apport du digital aux choix fonctionnels et esthétiques : l’intérêt de la dentisterie 4D. *Quintessence Publishing.* 2018;12(4):335-46.
51. Matalon S, Eini A, Gorfil C, Ben-Amar A, Slutzky H. Do dental impression materials play a role in cross contamination? *Quintessence Int.* 2011;42(10):124-130.

Tables des illustrations

Figure 1 : os maxillaires droite et gauche avec les dents (logiciel Essential Anatomy®).	15
Figure 2 : os mandibulaire (logiciel Essential Anatomy®).	16
Figure 3 : vue latérale droite de l'ATM avec l'os temporal, mandibulaire, zygomatique et maxillaire (logiciel Essential Anatomy®).	16
Figure 4 : les plans de référence (E. d'Incau).	18
Figure 5 : courbe de Spee (schéma personnel).	19
Figure 6 : courbe de Wilson (schéma personnel).....	20
Figure 7 : triangle de Bonwill (schéma personnel).	20
Figure 8 : angle de Balkwill (schéma personnel).....	20
Figure 9 : schéma du mouvement de propulsion en position initiale (A) et position finale (B) (schéma personnel).	26
Figure 10 : pente condylienne (schéma personnel).	29
Figure 11 : FGP réalisé pour la restauration d'une première prémolaire maxillaire droite [3].	30
Figure 12 : photographie d'un occluseur (illustration personnelle).....	30
Figure 13 : schéma résumé des méthodes de CFAO (schéma personnel).	36
Figure 14 : enregistrement de l'occlusion par voie vestibulaire avec la 3Shape Trios 4®, A : acquisition en occlusion, B : le logiciel repositionne l'arcade mandibulaire, précédemment scannée, en reconnaissant la forme des dents et de la muqueuse sur le scanne de l'occlusion, C : idem pour l'arcade maxillaire (photographie personnelle).....	37
Figure 15: silicone Virtual CAD Bite Registration® positionné sur la préparation avec enregistrement de l'antagoniste en négatif (Ivoclar Vivadent®).....	38
Figure 16 : gestion du triangle de Bonwill (Cerec®).....	40
Figure 17 : illustration d'articulateurs virtuels (Information dentaire).....	41
Figure 18 : méthode de double montage avec utilisation de transfert (Amann Girrbach®).....	43
Figure 19 : scannage d'un articulateur pour avoir son homologue virtuel (Amann Girrbach®)	44

Figure 20 : photographies de face et de profil d'un patient avec le plan de Fox en bouche [28].....	45
Figure 21: repositionnement du maxillaire scanné par rapport au plan axio-orbitaire par le biais du plan de Fox en bouche photographié de profil [28].....	45
Figure 22 : scanner facial (Solaberrieta et al).	46
Figure 23 : positionnement du crane sur l'articulateur virtuel après alignement du modèle maxillaire sur le CBCT [26].....	47
Figure 24 : comparaison des montages utilisant l'Artex® (A,B,C) et le Cadiax® (D,E,F) [26].	48
Figure 25 : schéma expliquant la méthode par stéréophotogrammétrie [37].	50
Figure 26 : prise de l'occlusion dynamique par le Patient Specific Motion®, (A) en OIM, (B) en propulsion (photographie personnelle).	52
Figure 27 : illustration du JMT (Sicat®).....	54
Figure 28 : schéma explicatif du Zebris (Amann Girrbach®)	56
Figure 29 : le chariot M-JEE (photographie personnelle).....	57
Figure 30 : l'arc facial (photographie personnelle).	57
Figure 31: en cours d'enregistrement de l'occlusion dynamique avec le Modjaw® (photographie personnelle).	57
Figure 32 : enregistrement de la cinématique en cours (Modjaw®).....	58
Figure 33 : description d'une séance d'enregistrements de la cinématique mandibulaire à l'aide du Modjaw®. A : acquisition, B : calibration, C : fixation de la fourchette, D : pointage des repères faciaux, E : pointage des repères dentaires, F : enregistrement de la cinématique mandibulaire avec le Modjaw® (photographies personnelles).....	59
Figure 34 : photographie intrabuccale de la situation initiale [48].	60
Figure 35 : superposition des données avec l'augmentation de DVO de 5mm (A) et la réalisation du wax up virtuelle en CAO (B) [48].....	61
Figure 36 : photographie du sourire après le traitement [48].	61
Figure 37: photographies de la patiente extrabuccale de face (A), intrabuccale vue maxillaire (B), de son CBCT (C) avant traitement (courtoisies de A. Jeu).	62
Figure 38 : images des contacts dentaires en propulsion (A), en latéralité gauche (B) et droite (C) enregistrées par le Modjaw® (courtoisies de A. Jeu).....	63
Figure 39 : patiente avant (A) et après aperçu SmileCloud du projet esthétique (B) (courtoisies de A. Jeu).....	63

Figure 40 : images du Wax Up 3D (A) et des points de correspondance avec le fichier STL (B,C) (courtoisies de A. Jeu).	64
Figure 41: essayage du Wax up avec la cinétique mandibulaire de la patiente (courtoisies de A. Jeu).....	64
Figure 42 : matching du Wax Up sur le CBCT (courtoisies de A. Jeu).....	64
Figure 43 : positionnement implantaire en fonction du CBCT et du projet prothétique (images du Dr Jeu).....	65
Figure 44 : conception du guide chirurgical et de la prothèse provisoire (courtoisies de A. Jeu).	65
Figure 45: pose du guide chirurgical et de la prothèse provisoire (courtoisies de A. Jeu).	66
Figure 46 : situation initiale (A) et en cours de traitement avec le provisoire en bouche (B) (courtoisies de A. Jeu).	66
Figure 47 : image des contacts dentaire en propulsion avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).....	67
Figure 48 : image des contacts dentaire en latéralité gauche avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).....	67
Figure 49 : image des contacts dentaire en latéralité droite avec le provisoire en bouche (courtoisies de A. Jeu).....	67
Figure 50 : enregistrement de l'enveloppe masticatoire avec le Modjaw® (courtoisies de A. Jeu).	68

Tableaux

Tableau 1 : les différents moyens d'enregistrement de l'occlusion en OIM [3].....	24
Tableau 2 : les différents moyens d'enregistrement de l'occlusion en RC[3].	25
Tableau 3 : indications des articulateurs en fonction du guidage antérieur.	32
Tableau 4 : méthodes de fabrication assistée par ordinateur.	35
Tableau 5: avantages et inconvénients de l'utilisation d'un articulateur mathématique [22].	40
Tableau 6: dispositifs existants en 2021[20].	51

Tables des abréviations

ADF : association dentaire France
ALADA : as low as diagnostically acceptable
ATM : articulation temporo-mandibulaire
CAO : conception assistée par ordinateur
CBCT : cone beam computed tomography
CFAO : conception et fabrication assistée par ordinateur
DCM : dysfonctionnement cranio-mandibulaire
DICOM : digital imaging and communications in medicine
DVO : dimension verticale d'occlusion
FAO : fabrication assistée par ordinateur
FGP : fonctionnaly generated path
HAS : haute autorité de santé
LED : diode électroluminescente
ODF : orthopédie donto-facial
OIM : occlusion d'intercuspidie maximale
PAO : plan axio-orbitaire
PMMA : polyméthacrylate de méthyle
PSM : patient specific motion®
PC : pente condylienne
RC : relation centré
RIM : relation intermaxillaire
STL : stéréolithographie
XML : extensible markup language

Prothèse fixée : enregistrement et programmation de l'occlusion statique et dynamique en CFAO / **VAN TRIEMPONT Amory**.- p. (79) : ill. (50) ; réf. (51).

Domaines : Prothèse – Technologie.

Mots clés Rameau: Conception assistée par ordinateur ; Fabrication assistée par ordinateur ; Occlusion dentaire ; Articulateur

Mots clés FMeSH: Conception assistée par ordinateur ; Fabrication assistée par ordinateur ; Occlusion dentaire ; Articulateur

Résumé de la thèse :

L'enregistrement de l'occlusion est une étape indispensable dans une réhabilitation prothétique. Avec l'apparition de l'empreinte optique au cabinet dentaire, il est maintenant possible de l'enregistrer de façon numérique. Au cours de cette dernière décennie, de nouveaux systèmes sont apparus et permettent d'enregistrer l'occlusion statique (3D) mais aussi dynamique (4D). Le patient devient l'articulateur. Comment se présentent-ils ? Sont-ils fiables ? Quel est leur but ?

Dans le premier chapitre, nous ferons un rappel sur les notions d'anatomie ainsi que sur les paramètres de l'occlusion et les techniques de prise d'occlusion traditionnelles.

Dans un second temps, nous développerons l'enregistrement de l'occlusion statique en conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) 3D puis dans une troisième partie, la prise d'occlusion dynamique en CFAO, le dernier élément de la chaîne numérique.

Ainsi le « full digital » se développe de plus en plus au sein de notre pratique quotidienne, les prix deviennent plus abordables, il représente le futur de notre profession.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Pascal Béhin

**Asseseurs : Monsieur le Docteur Jérôme Vandomme
Monsieur le Docteur Philippe Boitelle
Monsieur le Docteur Corentin Denis**