

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2021

N°:

THESE POUR LE

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 8 juin 2021

Par Auguste MERCIER

Né le 20 novembre 1995 à Villeneuve-d'Ascq (France)

**OUTILS NUMÉRIQUES DISPONIBLES POUR LA CONFECTION DES
PROTHÈSES AMOVIBLES COMPLÈTES**

JURY

Président : Monsieur le Professeur Pascal BEHIN

Assesseurs : Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE

Monsieur le Docteur Grégoire MAYER

Monsieur le Docteur Samy BENCHIKH

Président de l'Université	:	Pr. J-C. CAMART
Directeur Général des Services de l'Université	:	M-D. SAVINA
Doyen	:	E. BOCQUET
Vice-Doyen	:	A. de BROUCKER
Responsable des Services	:	S. NEDELEC
Responsable de la Scolarité	:	M. DROPSIT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'U.F.R.

PROFESSEURS DES UNIVERSITES :

P. BEHIN	Prothèses
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
E. DELCOURT-DEBRUYNE	Professeur Emérite Parodontologie
C. DELFOSSE	Responsable du Département d' Odontologie Pédiatrique
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 Doyen de la Faculté de Chirurgie Dentaire
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	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. HILDELBERT	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
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

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

Je vous suis très reconnaissant de l'honneur que vous me faites de présider le jury de cette thèse. J'ai pu profiter de la qualité de votre enseignement à travers les vacations cliniques à vos côtés, mais aussi grâce aux cours magistraux. C'est avec vous que j'ai réalisé mes premiers actes en prothèse fixée, et j'ai donc pu directement apprendre la rigueur, et le sens du détail, qui sont indispensables dans votre discipline. Je vous remercie pour tout ce que vous m'avez appris, et m'efforcerai de l'appliquer tout au long de mon exercice professionnel.

Monsieur le Docteur Thierry DELCAMBRE

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD *Section
Réhabilitation Orale*

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2

Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales

Diplôme d'Université d'Implantologie

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Adjointe Partielle

Certificat d'Etudes Supérieures de Prothèse Adjointe Complète

Je vous remercie pour votre implication et votre aide sur cette situation délicate, dans laquelle je me retrouvais à chercher un sujet en « urgence » l'été dernier. Nous ne nous connaissions qu'à travers quelques travaux pratiques et enseignements théoriques. Cependant, vous n'avez pas hésité à venir en aide au Dr Benchikh pour sa première direction de thèse, que cela soit pour trouver un sujet ou pour encadrer le travail final. Je vous remercie sincèrement, et n'oublierai jamais votre aide, qui m'a permis de rebondir et être thésé dans des délais convenables.

Monsieur le Docteur Grégoire MAYER

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en Odontologie de l'Université de Lille 2

Maîtrise des Sciences Biologiques et Médicales

Certificat d'Etudes Spécialisées de Prothèse Amovible Totale

Diplôme d'Etudes Approfondies Génie Biologique et Médical – option Biomatériaux

Médaille de bronze de la Défense Nationale (Agrafe « Service de Santé »)

Je vous remercie d'avoir spontanément accepté de siéger au sein de ce jury. Votre enseignement lors de mes deux premières années à la faculté m'a permis d'apprécier votre rigueur ainsi que votre exigence en prothèse. Apprendre à vos côtés n'a pas toujours été facile, mais m'a permis de quitter cette faculté grandi, et je m'évertue à appliquer dans ma pratique quotidienne tout ce que vous m'avez enseigné, en théorie, pratique mais aussi en clinique.

Monsieur le Docteur Samy BENCHIKH

Assistant Hospitalo-Universitaire des CSERD

Section Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Diplôme Universitaire de Prothèse Amovible Complète – Université de Lille

Certificat d'Études Supérieures d'Odontologie Chirurgicale – Mention Médecine Buccale

– Université de Lille

Samy, il me faudrait certainement plus d'une page pour t'exprimer toute la gratitude et la sympathie que j'éprouve à ton égard.

Il y a d'une part ce travail, qui a été rendu possible grâce au Docteur Delcambre, mais surtout grâce à toi. En effet, tu as tout de suite ressenti ma détresse lors de ma première thèse, et tu n'as pas hésité à me proposer ton aide, toi qui n'étais même pas encore AHU. Alors rien que pour cela, je te suis très reconnaissant.

En plus de m'avoir permis de devenir Docteur en chirurgie dentaire, tu as été un directeur très impliqué, parfois même plus impliqué que moi, qui me retrouvais parfois lassé de rédiger une seconde thèse. Malgré l'appréhension que j'avais de travailler aux côtés d'un ami que je ne voulais pas décevoir, tu as été un directeur exceptionnel, et crois moi, je pèse mes mots.

En effet, tu as toujours su différencier le travail de l'amitié, tu t'es montré très disponible, et as toujours tenu des promesses.

D'autre part, il y a tout mon parcours au sein de cette faculté, mais aussi la vie professionnelle. Certes, nous avons été séparés dès notre première année. Cependant cela n'a peut-être pas été une mauvaise chose. En effet, tu as toujours été là pour me conseiller, sans aucune demi-mesure, ce qui a toujours permis d'avancer, en ayant toutes les cartes en main. Tu m'as permis d'évoluer au quotidien, que cela soit dans ma réflexion ou dans ma pratique, je t'en remercie sincèrement, et j'espère que cela continuera dans notre vie future.

Table des matières

1	Introduction	14
2	Étapes cliniques et de laboratoire conventionnelles pour la réalisation d'une prothèse amovible complète	16
3	Généralités sur le numérique en prothèse amovible complète	17
4	Outils numériques accessibles pour les différentes étapes de prothèse amovible complète	21
4.1	Pour le traitement ou la prise des empreintes.....	21
4.1.1	Pour la prise d'empreinte.....	21
4.1.1.1	Scanner intra-oral.....	21
4.1.1.2	Traitement numérique d'une empreinte en PAC par l'utilisation du cone beam 23	
4.1.1.3	Traitement numérique d'une empreinte par un scanner.....	25
4.2	Pour la confection des PEI.....	26
4.2.1	Après scanner d'un modèle en plâtre.....	26
4.2.2	Après empreinte optique.....	28
4.3	Pour la réalisation des bases d'occlusion.....	29
4.4	Pour la relation inter-maxillaire.....	32
4.4.1	Méthode conventionnelle suivie d'un scanner des bases d'occlusion.....	32
4.4.2	Systèmes spécifiques.....	33
4.4.2.1	Wieland® Digital Denture.....	33
4.4.2.1.1	UTS CAD (Ivoclar Vivadent).....	33
4.4.2.2	AvaDent® Digital Denture.....	37
4.4.3	Relation inter-maxillaire pour une prothèse complète d'usage succédant à une prothèse immédiate.....	42
4.4.4	Scan facial.....	44
4.5	Pour la réalisation des maquettes et le montage des dents.....	49
4.5.1	CAO.....	49
4.5.2	Visualisation du visage du patient avec montage virtuel.....	52
4.5.3	Essayage avec un modèle conçu par FAO.....	54
4.6	Usinage / impression des dents et des prothèses complètes.....	56
4.6.1	Prothèses usinées.....	56
4.6.2	Prothèses fabriquées avec imprimante 3D : Rapid Prototyping.....	59
4.6.3	Usinage des dents.....	60
5	Numérique et prothèse amovible complète : quelles applications cliniques en 2020 ?	62
5.1	Les limites du numérique.....	62
5.2	Les perspectives d'évolution.....	63
6	Tableaux de synthèse	66
6.1	Les 5 principaux systèmes de conception numérique de prothèses amovibles complètes par rapport à la méthode traditionnelle.....	66
6.2	Les outils numériques disponibles en PAC pour le chirurgien-dentiste.....	68
6.3	Les outils numériques disponibles en PAC pour le prothésiste.....	69
7	Conclusion	70
	Références bibliographiques	72
	Table des illustrations	76
	Table des tableaux	78

1 Introduction

Au cours du XXI^e siècle, les outils numériques ont connu un essor sans précédent pour les restaurations dentaires fixées. La réalisation de ces prothèses fixées via outils numériques est devenue une pratique courante en raison de leurs résultats prometteurs au long terme.

Cependant, les techniques en prothèse amovible ont rencontré un développement fortement ralenti en comparaison avec celui de la prothèse fixée. Cela est d'autant plus vrai pour la prothèse amovible complète, qui a été délaissée ces dernières années, ce qui a engendré un retard dans l'amélioration des outils numériques disponibles dans cette discipline.

Celle-ci a été délaissée pour plusieurs raisons :

- Discipline complexe, nécessitant beaucoup d'expérience mais aussi un sens clinique du praticien.
- Différentes étapes d'enregistrement et de transfert nécessaires, moins facilement adaptés à la technologique numérique.
- La réalisation d'une prothèse amovible complète doit prendre en compte la combinaison harmonieuse de nombreux éléments.
- Nombre de rendez-vous et temps nécessaires élevés.
- Discipline délaissée par de nombreux laboratoires au profit des restaurations dentaires fixées, considérées comme plus nobles et gratifiantes à réaliser [1].

Malgré ce retard dans la discipline, il est aujourd'hui possible de confectionner des prothèses amovibles complètes via techniques numériques. Des outils numériques sont disponibles pour chaque étape. Des systèmes de conception et fabrication assistées par ordinateur (CFAO) pour les PAC existent déjà et proposent ainsi un nombre de rendez-vous réduit, une fabrication standardisée et une qualité contrôlée.

La réalisation numérique de PAC commence tout de même à se développer en clinique mais surtout au laboratoire. Cela est dû aux améliorations obtenues en technologies CFAO mais aussi à la prise de conscience des praticiens et prothésistes qu'une combinaison des méthodes numériques et conventionnelles permet d'obtenir des résultats très prometteurs [2].

Cependant, les outils numériques pour la réalisation des PAC présentent des limites qui rendent l'utilisation de la méthode conventionnelle obligatoire.

De nombreuses études sont en cours et permettent d'envisager, à l'avenir, l'utilisation de la méthode numérique exclusivement, en clinique comme en laboratoire. Ces outils pourraient alors s'installer dans de nombreux cabinets dentaires.

Ce travail propose donc de répertorier les différents outils numériques disponibles pour la confection des prothèses amovibles complètes mais aussi de répondre aux questions suivantes :

- **Est-il possible d'envisager à l'heure actuelle la réalisation des prothèses amovibles complètes uniquement par outils numériques ?**
- **Ou bien les limites sont-elles pour l'instant trop nombreuses et des études sont encore nécessaires ?**
- **Quelles méthodes numériques ont déjà démontré leur validité clinique ?**

2 Étapes cliniques et de laboratoire conventionnelles pour la réalisation d'une prothèse amovible complète

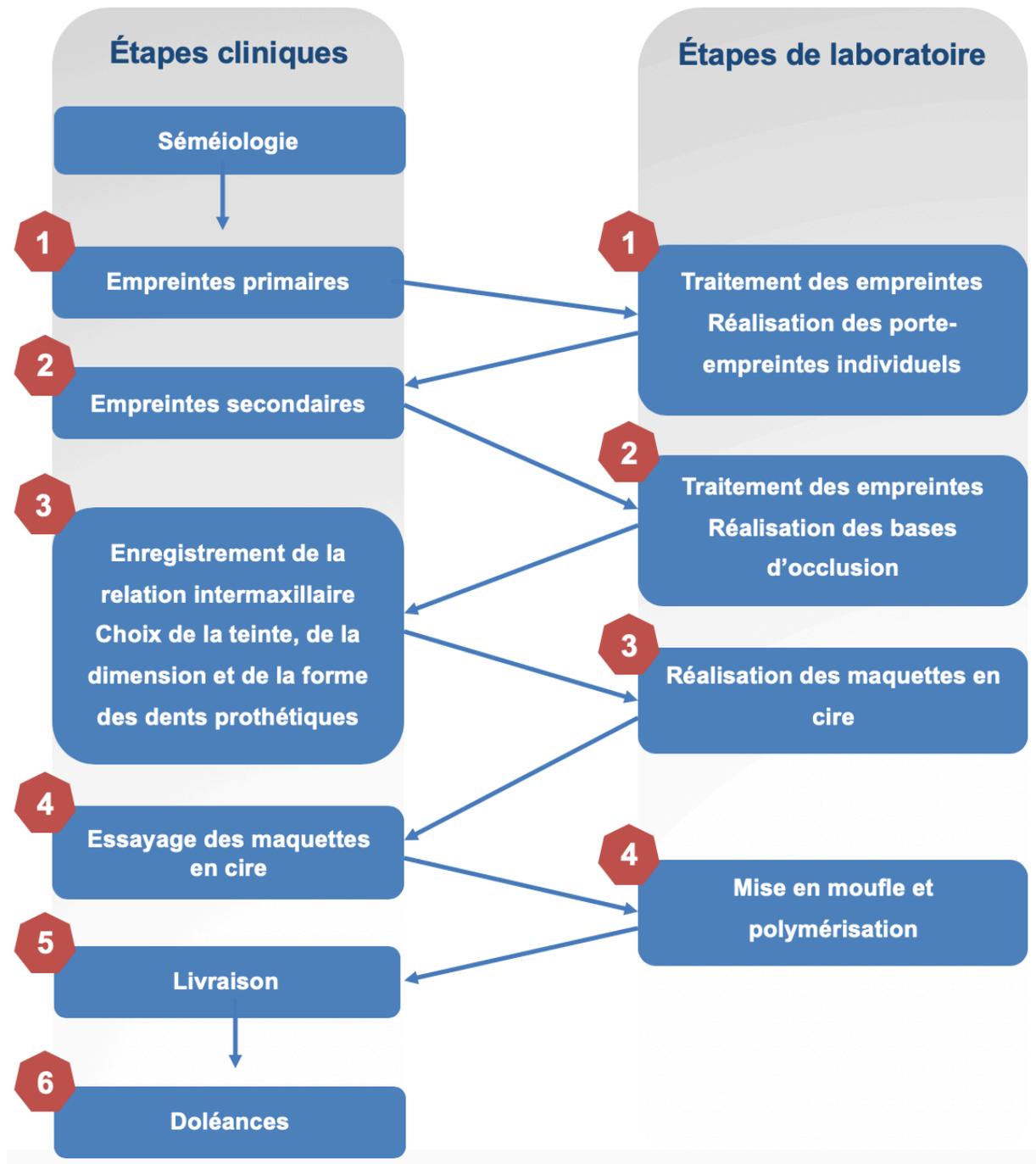


Figure n°1 : Étapes cliniques et de laboratoire nécessaires à la réalisation d'une prothèse amovible complète [3]

3 Généralités sur le numérique en prothèse amovible complète

La fabrication numérique d'une prothèse amovible complète est complexe car l'obtention d'une intégration harmonieuse des dents artificielles au sein de la cavité buccale et du visage nécessite plusieurs étapes d'enregistrement, de transfert et de réévaluation. Tous ces éléments requièrent un sens clinique et artistique moins facilement adapté à la technologie CFAO [4].

Les outils numériques présentent de nombreux avantages, incluant notamment les empreintes et modèles numérisés, mais aussi les articulateurs virtuels. Par ailleurs, une fabrication parfaitement reproductible avec des matériaux de qualité contrôlée, et une diminution du nombre de rendez-vous sont permises par la technologie CFAO.

Cependant, la mise en place de ces technologies entraîne un coût important, et cela représente une barrière pour de nombreux cabinets dentaires et laboratoires de prothèse. Par ailleurs, l'utilisation de ces technologies nécessite de l'entraînement et peut donc être à l'origine de mauvaises manipulations, en clinique ou en laboratoire.

De nos jours, les systèmes CFAO se développent en prothèse amovible, et notamment en prothèse complète [5].

Il est dorénavant possible d'atteindre une haute précision avec une usineuse à 5 axes. En outre, l'imprimante 3D fait aussi son apparition en prothèse amovible.

Récemment, plusieurs aspects des systèmes CFAO ont connu des améliorations technologiques importantes. Il s'agit notamment du développement et de l'application de nouveaux matériaux, de l'introduction d'un logiciel d'articulateur virtuel et du développement de scanners, de la conception d'usineuses et d'imprimantes 3D plus efficaces et du transfert de moulages numérisés vers l'articulateur virtuel. Cependant, la production de modèles numériques entraîne un coût supérieur aux modèles en plâtre en raison des investissements nécessaires [5].

L'utilisation d'outils numériques permettent des prothèses complètes avec une meilleure rétention, un meilleur ajustage mais aussi de meilleures propriétés mécaniques et de surface que les prothèses réalisées de manière conventionnelle [6,7].

Les études récentes montrent aussi un temps de travail réduit, pour le chirurgien-dentiste comme pour les prothésistes, mais aussi une préférence pour les cliniciens d'utiliser les outils numériques plutôt que les méthodes conventionnelles [8–10].

De nouveaux protocoles utilisant des outils numériques sont proposés par différents fabricants [11]. Bien qu'ils évoluent, il est souvent nécessaire de continuer à utiliser des procédures cliniques standards, qui sont par la suite numérisées en fonction des différents systèmes [1,6,11,12].

L'utilisation de l'empreinte optique permet une réduction du temps au fauteuil, mais aussi en laboratoire en évitant les procédures de désinfection ou traitement des empreintes physiques. Les problèmes liés à la manipulation des matériaux, au stockage des empreintes et aux moulages sont ainsi évités [13,14].

Des études prometteuses permettent d'envisager dans un futur proche la possibilité de confectionner des prothèses amovibles complètes uniquement à l'aide d'outils numériques. Certaines d'entre elles ont déjà permis la réalisation d'une prothèse amovible complète en délaissant complètement les étapes conventionnelles de la prothèse amovible complète mais celles-ci ont leurs limites [13].

Dans le but de développer un protocole de techniques numériques pour les prothèses complètes, différentes méthodes ont été publiées pour :

- Les scanners intra-oraux
- L'enregistrement de la relation inter-maxillaire
- La fusion des scanners de la relation inter-maxillaire avec des scans du visage [17–20].

Par ailleurs des outils numériques permettent aussi la réalisation du montage de dents en occlusion bilatéralement équilibrée [21,22].

Les systèmes de fabrication de prothèses assistés par ordinateur disponibles offrent une variété d'avantages, et le choix d'un système dépend de l'expertise prothétique du dentiste, et des exigences concernant l'individualisation de la prothèse.

Nombreux sont les systèmes de fabrications de prothèses assistés par ordinateur, avec chacun un protocole qui lui est propre. On retrouve 5 principaux systèmes :

- **Wieland Digital Denture®**
- **AvaDent Digital Denture®**
- **WholeYou NexTeeth®**
- **Baltic Denture System®**
- **Ceramill Full Denture System®**

Ils nécessitent entre 2 et 5 rendez-vous pour la confection des prothèses amovibles complètes avec différents protocoles, utilisant ou non certaines étapes conventionnelles. Certains systèmes ont recours à une usineuse tandis que d'autres utilisent l'imprimante 3D pour réaliser la prothèse.

Ceux-ci présentent leurs avantages et inconvénients et nous allons voir par la suite, pour chaque étape nécessaire à la confection des prothèses amovibles complètes, les outils numériques disponibles et leurs limites [11,23,24].

Wieland Digital Denture®



Avadent Digital Denture®



WholeYou NexTeeth®



Baltic Denture System®



Ceramill Full Denture System®



Avantages du numérique en prothèse amovible complète

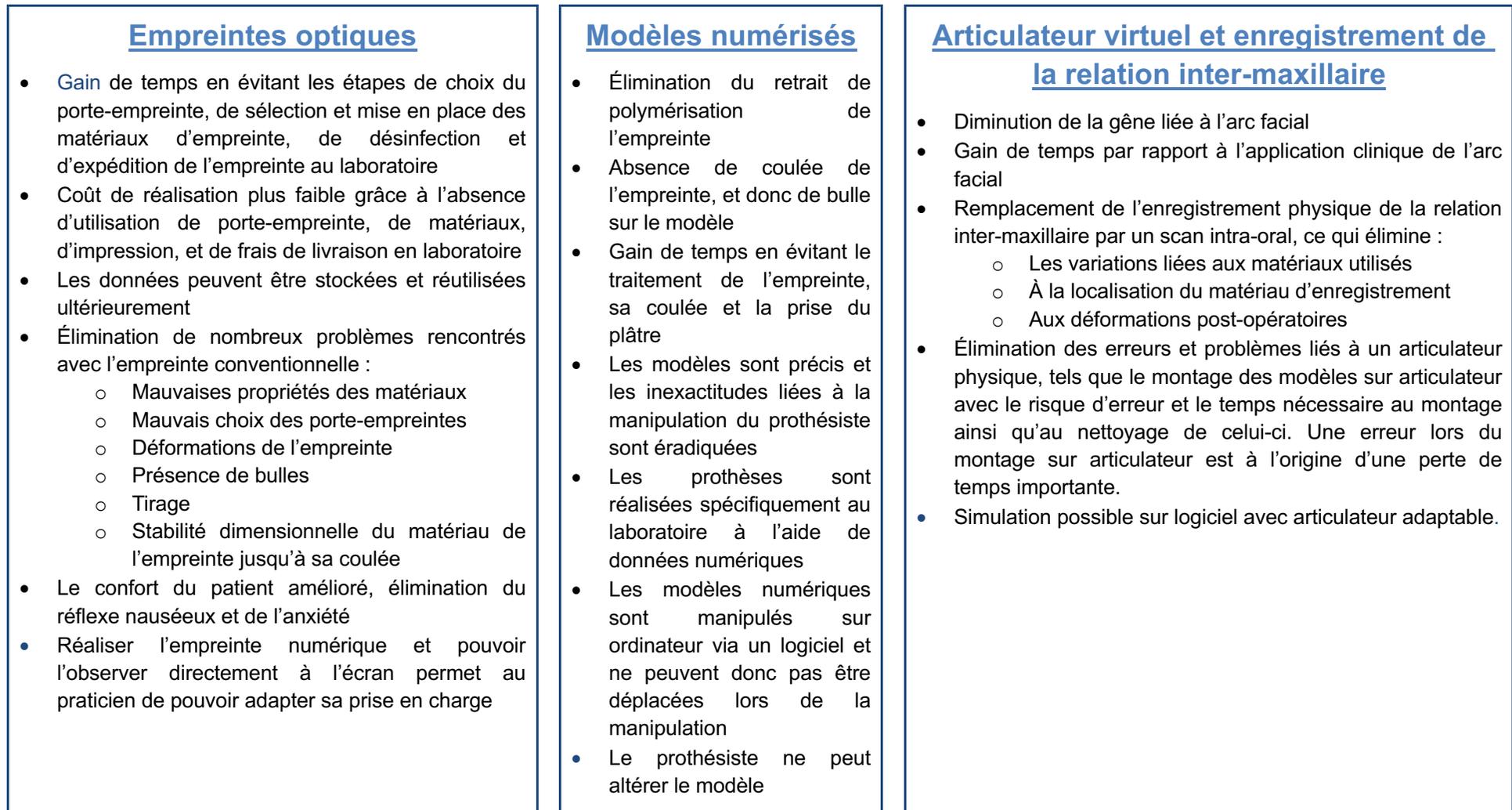


Figure n°2 : Schéma récapitulatif des avantages du numérique en prothèse amovible complète (schéma personnel)

4 Outils numériques accessibles pour les différentes étapes de prothèse amovible complète

4.1 Pour le traitement ou la prise des empreintes

4.1.1 Pour la prise d'empreinte

4.1.1.1 Scanner intra-oral

Patzelt et al ont démontré l'existence d'écarts importants avec la situation clinique lors de la réalisation de scanners intra-oraux sur les patients [25]. En effet les tissus mous et la présence de salive amènent à un manque de repères et de références et sont donc à l'origine de différences conséquentes lors de la prise d'empreinte.

Un écart entre l'image virtuelle et la situation clinique seront inévitablement à l'origine d'un échec clinique. Par ailleurs, le jeu musculaire ne peut pas être enregistré avec une empreinte optique. Pour la confection de prothèses amovibles complètes, la réalisation de scanners intra-oraux constitue un défi clinique et ne doit être réalisé que pour l'empreinte primaire actuellement [26,27].

Afin de mieux visualiser les arcades, il est nécessaire d'écarter les tissus de la région vestibulaire.

Il existe des systèmes de rétracteurs conçus pour le balayage intra-oral (par DIO Implant Co., Busan) avec une taille universelle. Ce dernier, constitué d'un fil d'aluminium avec une poignée suffisamment flexible permet un changement de forme, nécessaire à l'ajustage en région vestibulaire. L'épaisseur du cadre doit être suffisante afin d'assurer la rigidité du rétracteur, sans être excessive. La forme du cadre est plate des deux côtés au niveau postérieur afin de pouvoir l'appliquer au-delà des extrémités distales sans blesser le patient.

Par ailleurs, la poignée peut s'étendre dans le sens vertical vers le bas afin de passer sur la lèvre avec une interférence minimale avec la musculature buccale. Cette poignée permet de déplacer le rétracteur progressivement le long de la crête édentée, tout en réalisant le scan intra-oral [28].

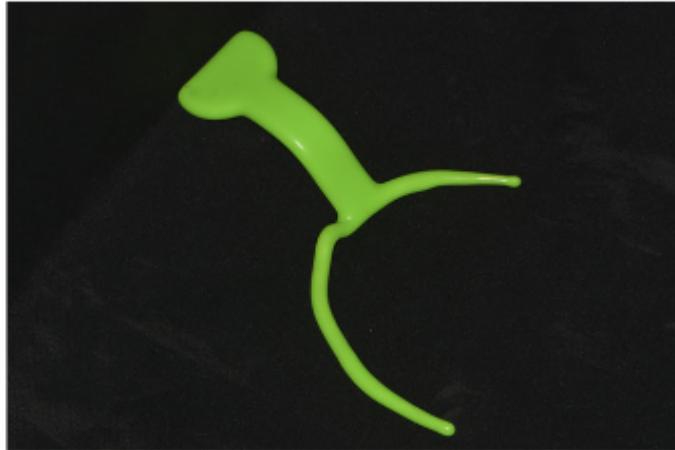


Figure n°3 : Rétracteur intra-oral pour l'impression de l'arcade maxillaire [28]



Figure n°4 : Rétracteur intra-oral positionné sur l'arcade maxillaire [28]

Ce système permet de limiter les interférences par rapport à un écarteur classique ou le doigt et permet donc d'éviter les surextensions, sources d'échecs cliniques. Dans le cas présenté ci-dessus, avec une caméra optique (ici 3Trios et 3Shape) on obtient un modèle numérisé.



Figure n°5 : Arcade maxillaire numérisée après scanner optique [28]



Figure n°6 : Caméra optique 3Shape de Trios®

Les données numériques enregistrées par la caméra optique doivent être traitées puis exportées vers le bureau ou le système d'exploitation dédié [29].

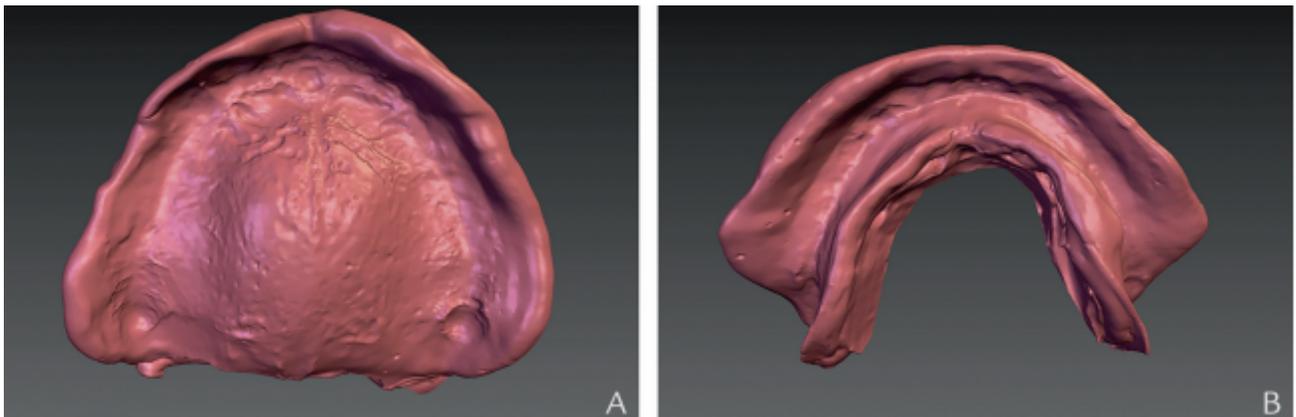


Figure n°7 : Modèles maxillaire et mandibulaires numérisés, traités puis exportés vers le système d'exploitation dédié [29]

Une fois les données enregistrées, la confection du PEI est possible.

4.1.1.2 Traitement numérique d'une empreinte en PAC par l'utilisation du cone beam

Une autre possibilité est de réaliser une empreinte primaire ou secondaire conventionnelle, puis de la numériser à l'aide d'un cone beam [3,30].

Toutes les données acquises par le cone beam vont être, dans un premier temps, exportées sous la forme d'un fichier STL (pour STéréoLithographie), qui décrit un objet par sa surface externe. C'est celui-ci qui va servir de base de travail pour la réalisation des modèles positifs.

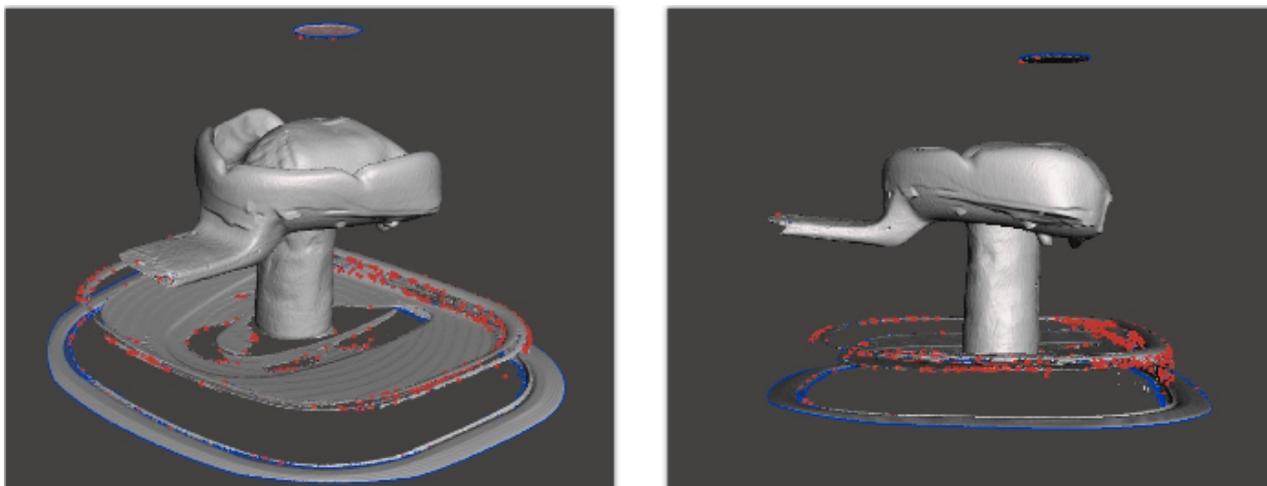


Figure n°8 : Modèle « brut » d'une empreinte après importation dans le logiciel dédié (vue de ¾ à gauche et vue latérale à droite) [3]

Après un travail de détourage de l'empreinte et une conversion du modèle en positif, un résultat parfaitement exploitable est obtenu, recueillant toutes les données enregistrées par l'empreinte.

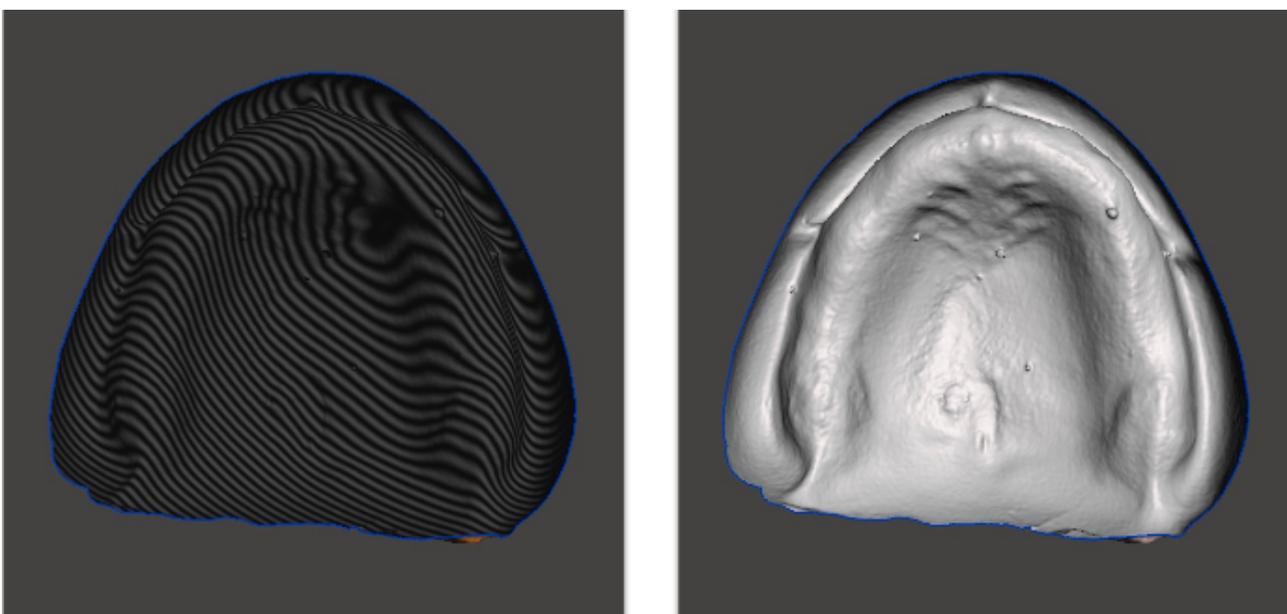


Figure n°9 : Rendu final de l'empreinte après conversion de l'empreinte détournée en surface positive dans le logiciel dédié [3]

Cependant, cette technique n'est applicable que lorsque certaines conditions ont été préalablement respectées. En effet, le porte-empreinte ne doit pas être métallique. Par ailleurs, certains matériaux d'empreinte sont incompatibles avec le cone beam. (Impression Paste SS White, Permlastic Light) [3].

En revanche, lorsque les conditions sont réunies, la compatibilité avec le CBCT est excellente et la corrélation entre le modèle imprimé en 3D et le modèle coulé peut s'avérer être très précise.



Figure n°10 : Corrélation entre le modèle secondaire imprimé en 3D issu du traitement numérique et le modèle secondaire en plâtre [3]

Ces études sont prometteuses mais doivent encore être approfondies afin de pouvoir l'introduire dans une pratique quotidienne [3].

De futurs travaux à propos de l'élaboration de PEI à partir d'empreintes numérisées au CBCT sont aussi à envisager.

4.1.1.3 Traitement numérique d'une empreinte par un scanner

Des études ont aussi été réalisées avec des essais cliniques avec un scanner d'empreintes conventionnelles [31,32].

Après la réalisation d'une empreinte traditionnelle, que ce soit une empreinte primaire ou secondaire, celle-ci est envoyée au laboratoire puis directement scannée. Un modèle numérisé est donc obtenu, qui servira de support pour toutes les étapes nécessaires à la réalisation d'une prothèse amovible complète (confection des PEI, des bases d'occlusion, réalisation du montage de dents et fabrication de la prothèse)



Figure n°11 : Empreinte maxillaire physique réalisée par méthode conventionnelle [31]

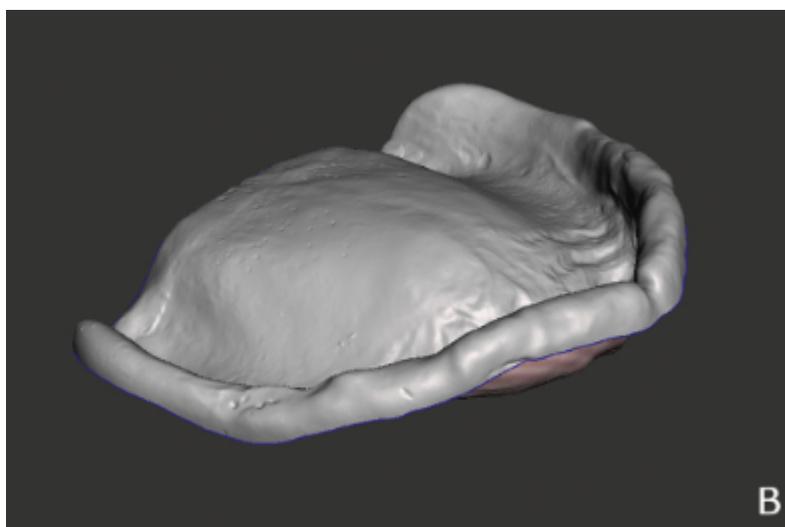


Figure n°12 : Numérisation de l'empreinte physique au scanner [32]

4.2 Pour la confection des PEI

4.2.1 Après scanner d'un modèle en plâtre

Une étude récente a permis d'évaluer une méthode de fabrication de porte-empreintes individuels pour arcades édentées à l'aide de technologies de conception assistée par ordinateur [33]. Dans celle-ci des modèles coulés en plâtre ont été scannés afin d'obtenir des modèles numériques servant de support pour la conception des PEI.

Les PEI fabriqués numériquement ont permis une précision plus élevée que ceux fabriqués à la main en comparant les correspondances avec leurs modèles respectifs. La technologie CFAO permet donc une production de PEI avec une haute précision et une bonne reproductibilité.

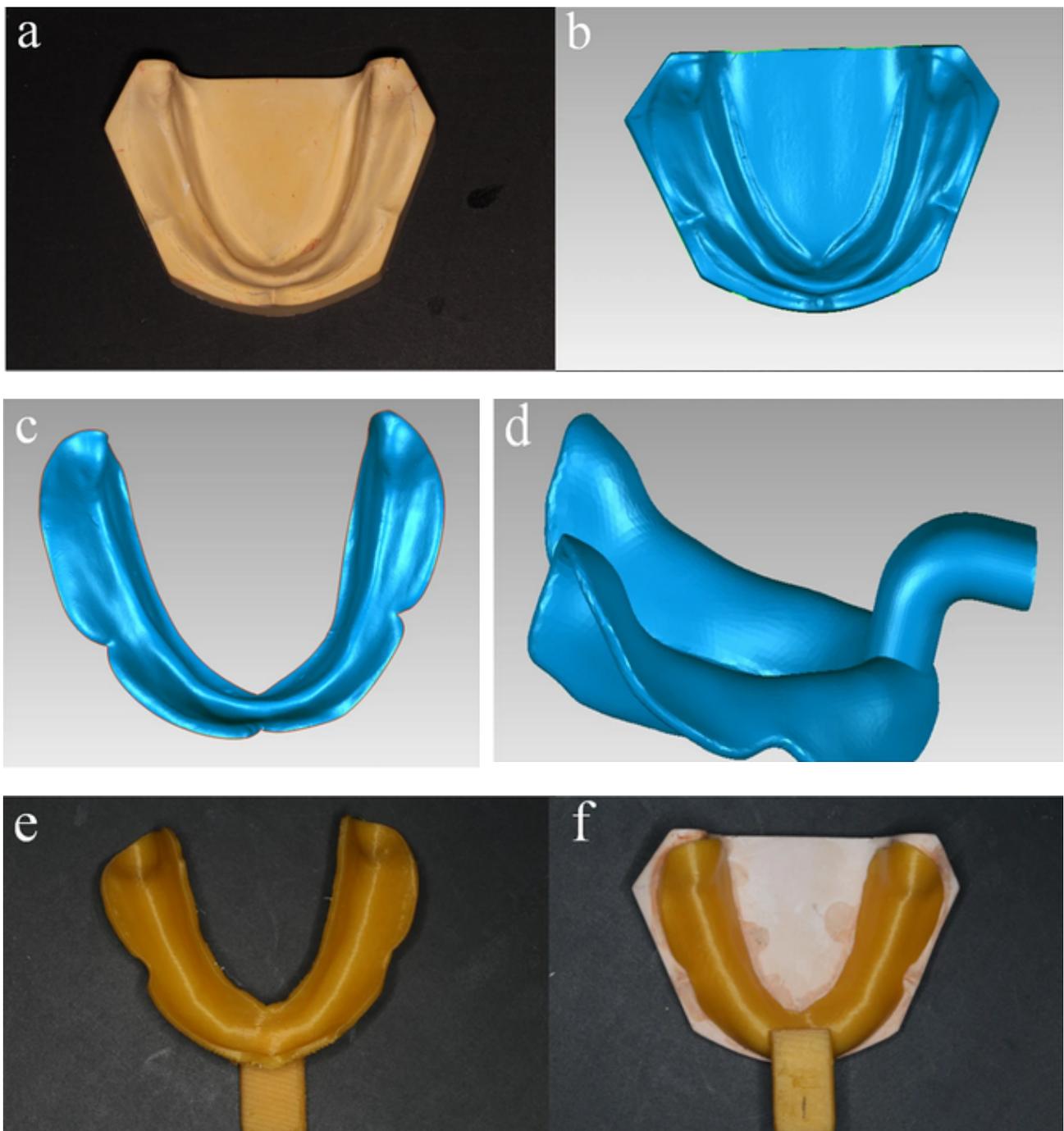


Figure n°13 : Modèles conçus par CFAO et PEI fabriqués à partir de ceux-ci [33]

D'après cette étude, la réalisation d'un PEI mandibulaire avec imprimante 3D nécessite 50 minutes. Cependant, la numérisation et la CAO nécessitent 5 minutes chacune, ce qui signifie que le temps de travail serait entre 5 et 10 minutes pour la confection d'un PEI (étant donné que la numérisation se fait automatiquement par l'ordinateur).

Dans les années futures, ce temps devrait être considérablement réduit par les progrès obtenus grâce au développement des logiciels de CAO spécifiques à la prothèse amovible complète mais à celui des imprimantes 3D et des usineuses [33].

4.2.2 Après empreinte optique

Après réalisation du scanner intra-oral, les données sont enregistrées au format STL (Standard Tessellation Language ou StéréoLitographie) puis séparées afin d'obtenir un modèle maxillaire et un modèle mandibulaire. Il faut ensuite importer le fichier STL sur un logiciel de CAO afin de concevoir les modèles de PEI. Une fois le PEI conçu sur le logiciel, on peut avoir recours à l'imprimante 3D afin de le fabriquer [34].

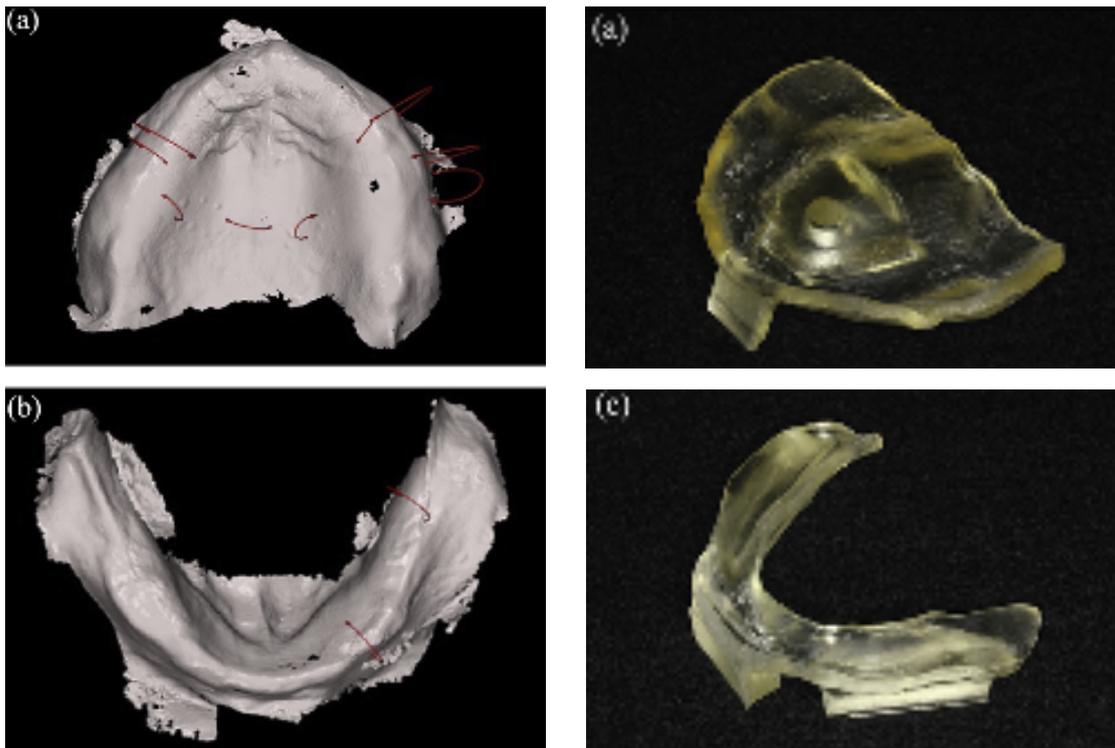


Figure n°14 : Numérisation des modèles maxillaire et mandibulaire et FAO des PEI [34]

Une empreinte secondaire conventionnelle est alors réalisée :

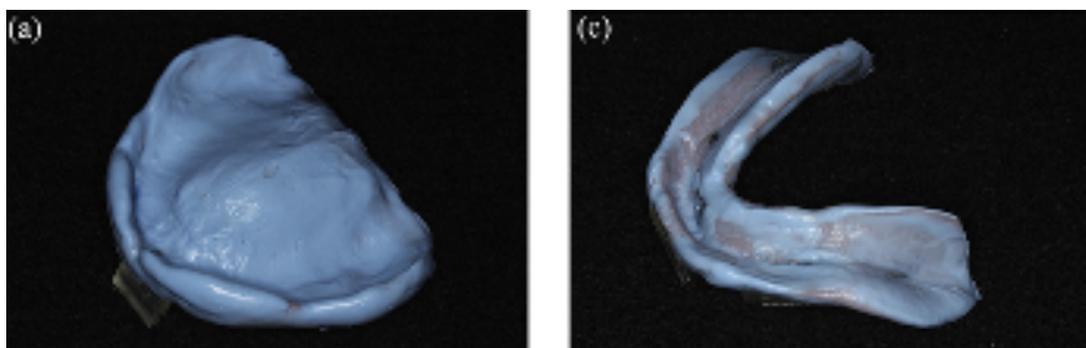


Figure n°15 : Empreintes secondaires des arcades maxillaire et mandibulaire par méthode conventionnelle [34]

Un exemple de logiciel de CAO pour concevoir des PEI avant l'impression en 3D :

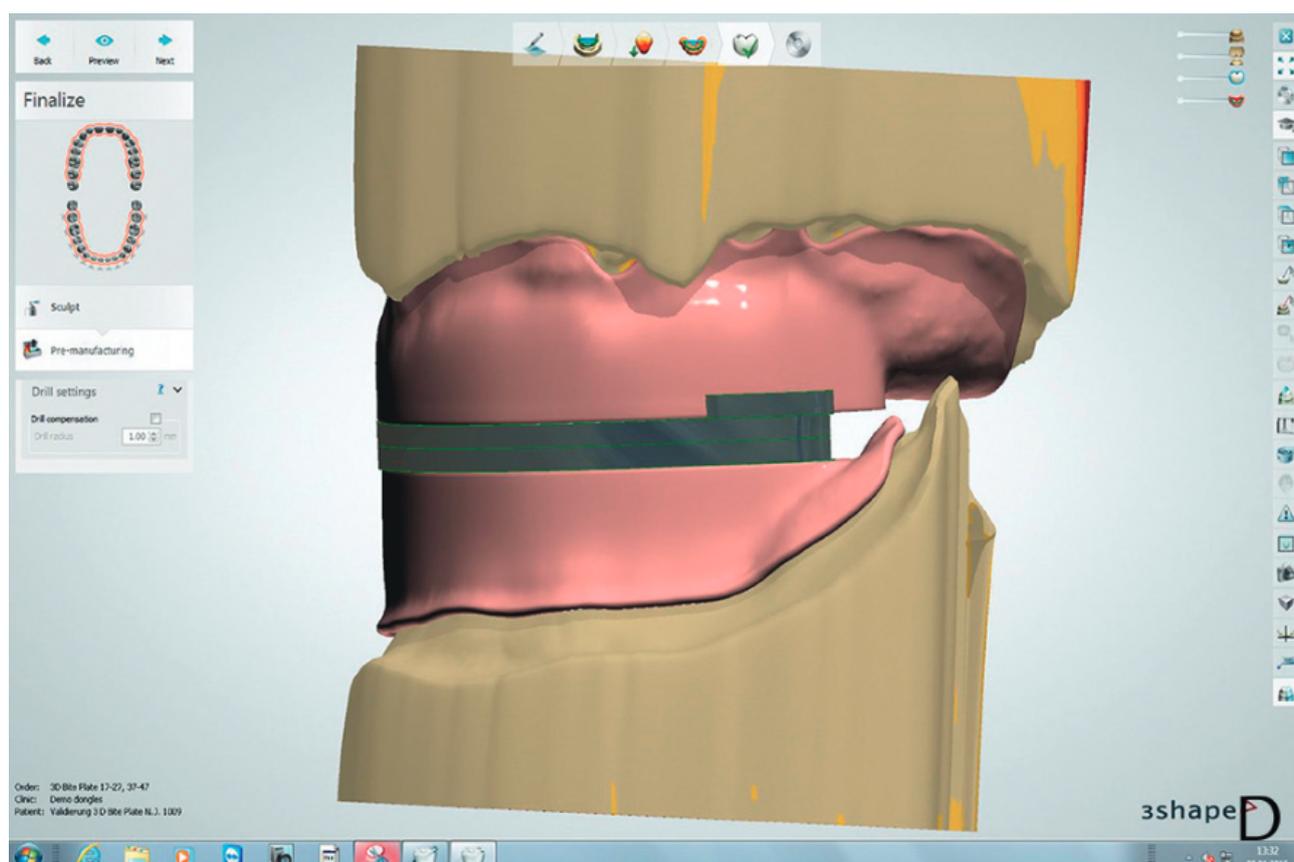


Figure n°16 : Conception des PEI via logiciel de CAO (3Shape de Trios®) [1]

4.3 Pour la réalisation des bases d'occlusion

Une fois les empreintes réalisées, les données sont exportées sur le logiciel associé. L'espace entre la muqueuse et les bases d'occlusion est réglé à 0 afin que les bases soient parfaitement ajustées à la muqueuse. Les réglages sont faits afin de dégager certaines zones telles que le trigone rétro-molaire à la mandibule. Une fois la conception des bases d'occlusion terminée, le fichier STL est exporté afin de permettre l'impression 3D de celles-ci [13, 17, 35].

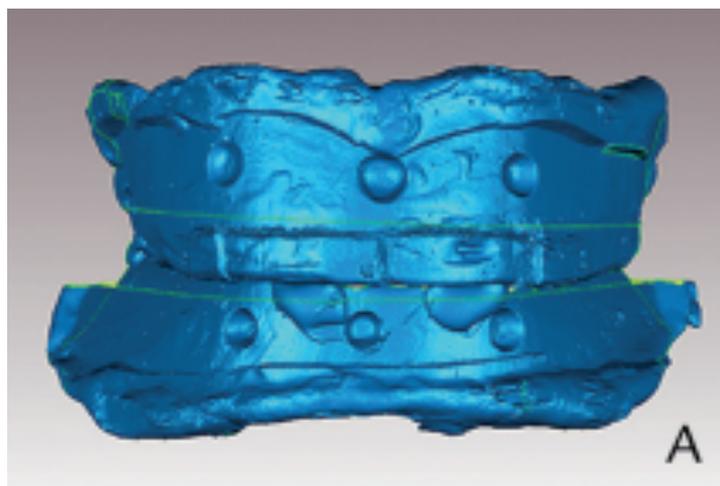


Figure n°17 : Conception des bases d'occlusion assistée par ordinateur [35]



Figure n°18 : Bases d'occlusions réalisées par FAO [35]

D'autres systèmes nécessitent une estimation de la DVO lors de l'empreinte primaire grâce aux techniques de détermination conventionnelles. Un silicone est placé entre les 2 arcades en essayant de maintenir le patient dans cette position jusqu'à la prise du matériau.

Le silicone est alors coupé sur environ 1,5cm de largeur, afin d'en faire un Jig, qui sera scanné par la caméra optique afin d'avoir une estimation préliminaire de la relation inter-maxillaire.

L'empreinte est alors sauvegardée en format STL puis exportée dans le logiciel associé de CAO. L'image de l'empreinte du JIG sera superposée à celle des empreintes des arcades maxillaire et mandibulaire, ce qui permet d'imprimer en 3D des bases d'occlusion [34].



Figure n°19 : Jig interposé entre les arcades [34]

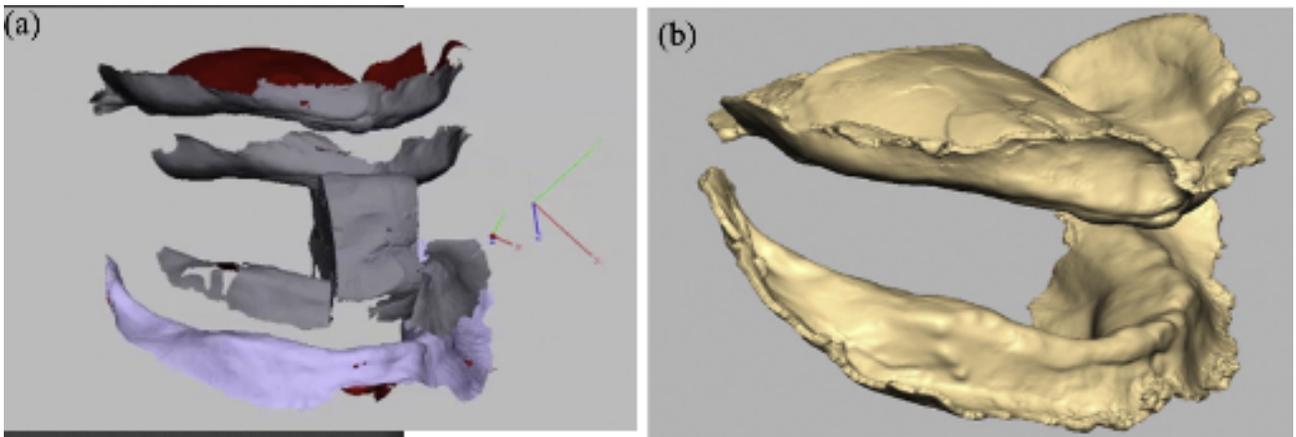


Figure n°20 : Numérisation des arcades maxillaire et mandibulaire avec estimation de la DVO [34]

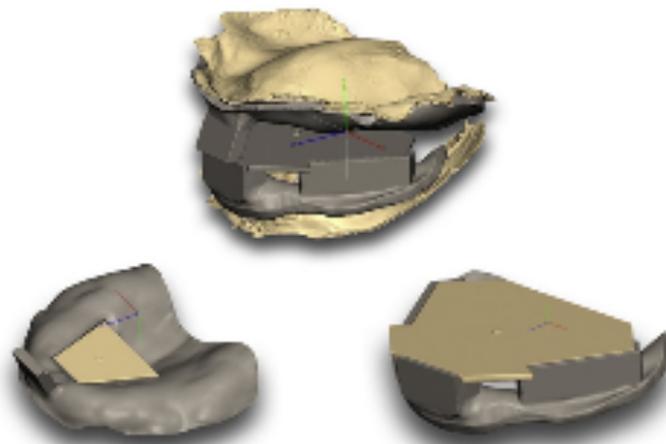


Figure n°21 : PEI conçus via logiciel de CAO [34]

4.4 Pour la relation inter-maxillaire

4.4.1 Méthode conventionnelle suivie d'un scanner des bases d'occlusion

Cette technique consiste à réaliser l'enregistrement de la relation inter-maxillaire de manière conventionnelle, puis de marquer les repères tels que le centre inter-incisif, la projection des tangentes aux ailes du nez ainsi que la ligne du sourire. On choisit aussi la forme et la teinte désirées pour les dents de la future prothèse amovible complète ; ensuite on envoie les bases d'occlusion au laboratoire.

Le laboratoire réalisera un scan des modèles individuellement suivi des modèles avec les bases d'occlusion positionnées, ce qui permettra donc au prothésiste de numériser les informations, qui seront sauvegardées au format STL puis exportées sur un logiciel adapté [12,36].

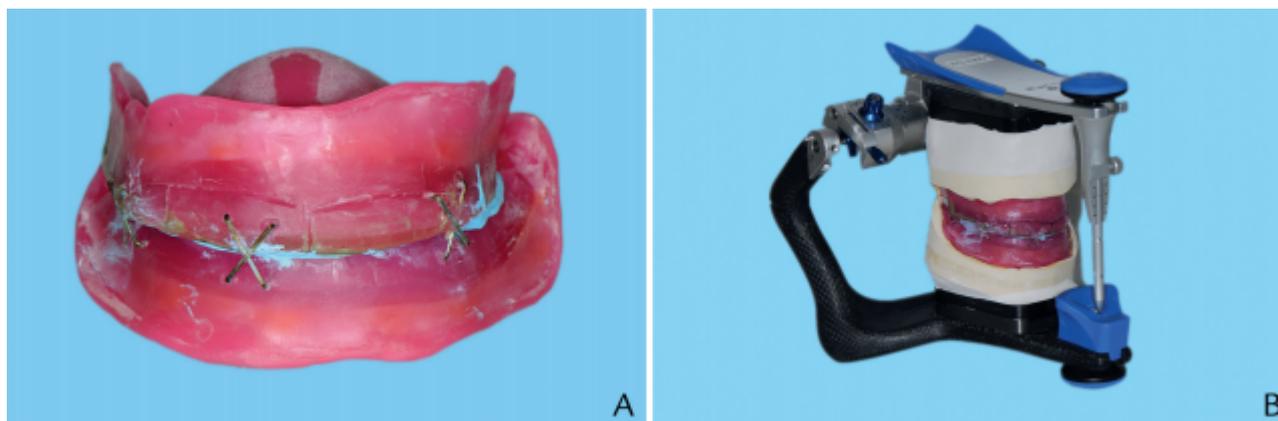


Figure n°22 : Enregistrement de la relation inter-maxillaire par méthode conventionnelle : Bases d'occlusion (A) et montage sur articulateur (B) [12]

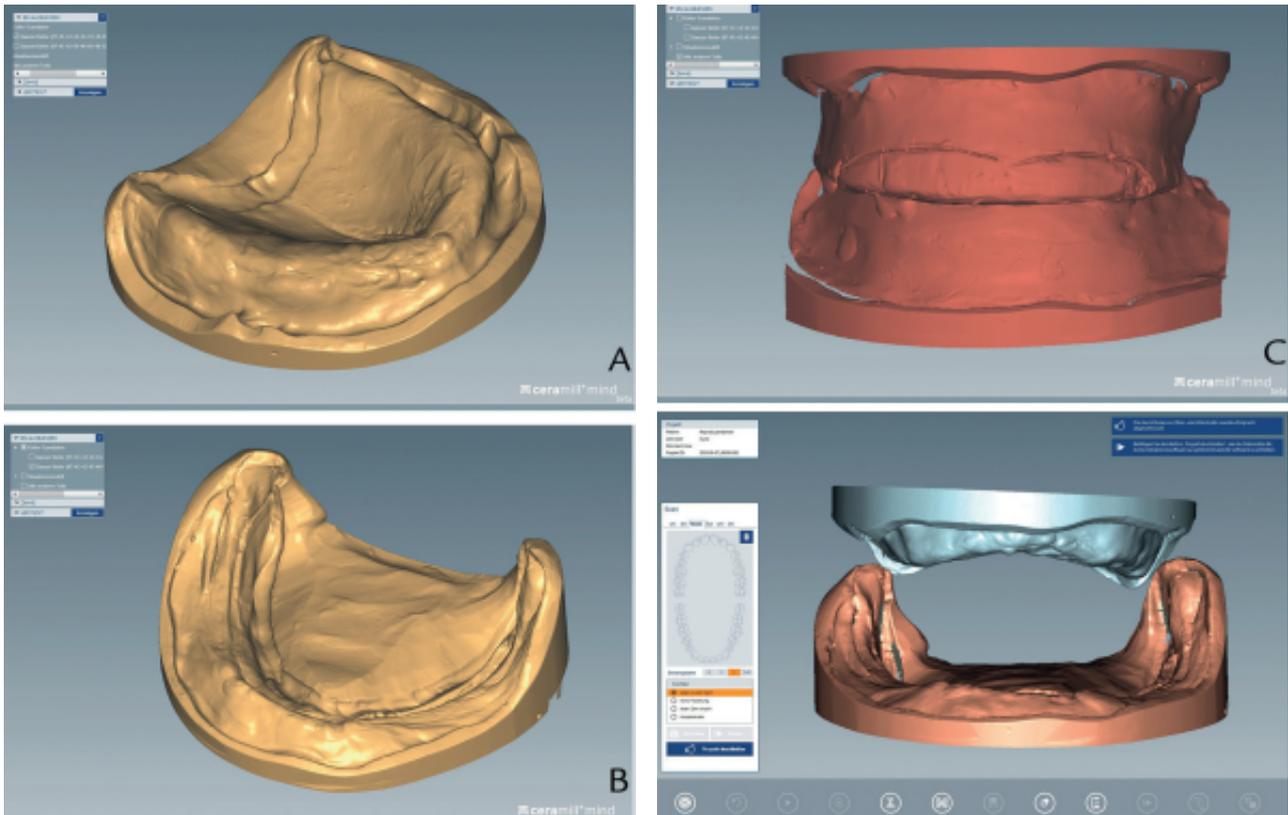


Figure n°23 : Montage virtuel des modèles en plâtre après superposition des différents scans [12]

4.4.2 Systèmes spécifiques

4.4.2.1 Wieland® Digital Denture

4.4.2.1.1 UTS CAD (Ivoclar Vivadent)

L'UTS CAD est un dispositif d'enregistrement destiné à mesurer l'angle du plan d'occlusion par rapport au plan de Camper et à la ligne bipupillaire.

Les mesures d'angle ou de déviation entre le plan d'occlusion et le plan de camper / ligne bipupillaire sont transmises au module complémentaire Digital Denture Professional qui reproduit alors la position virtuelle du plan d'occlusion. Cela permet d'obtenir un articulateur virtuel [22].



Figure n°24 : UTS CAD (Wieland® Digital Denture) [22]

4.4.2.1.2 Centric Tray (Ivoclar Vivadent)

Le Centric Tray enregistre les dimensions naturelles de la situation occlusale. Il facilite la détermination de la relation intermaxillaire des patients et de la relation centrée [22].

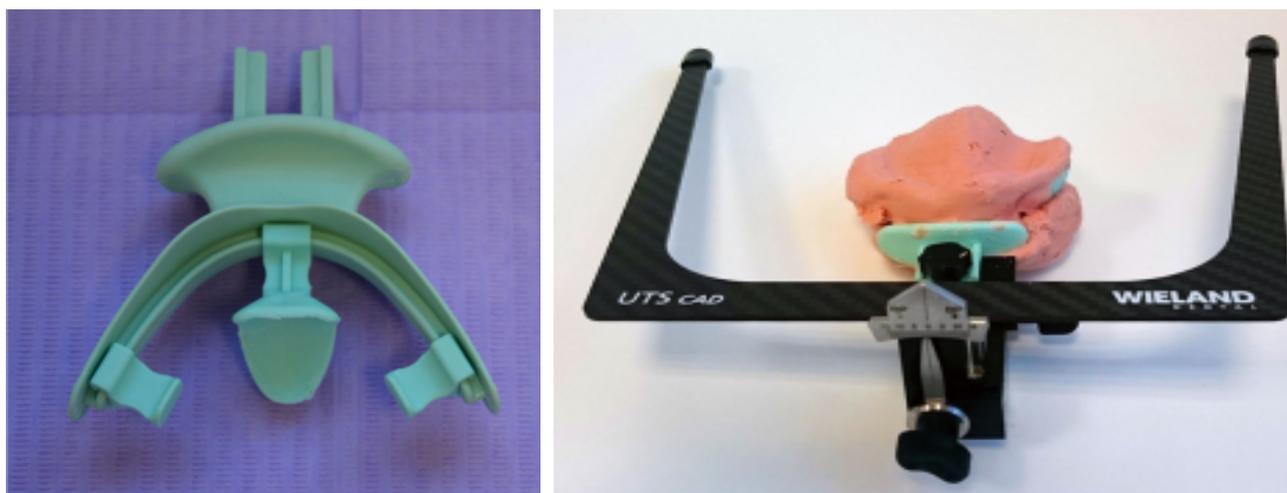


Figure n°25: Centric Tray (Wieland® Digital Denture) [22]

L'empreinte réalisée avec le Centric Tray est numérisée puis superposée aux empreintes primaires qui ont été scannées. Les valeurs obtenues sur l'UTS CAD sont exploitées afin d'obtenir les modèles primaires numérisés positionnés sur l'articulateur virtuel.

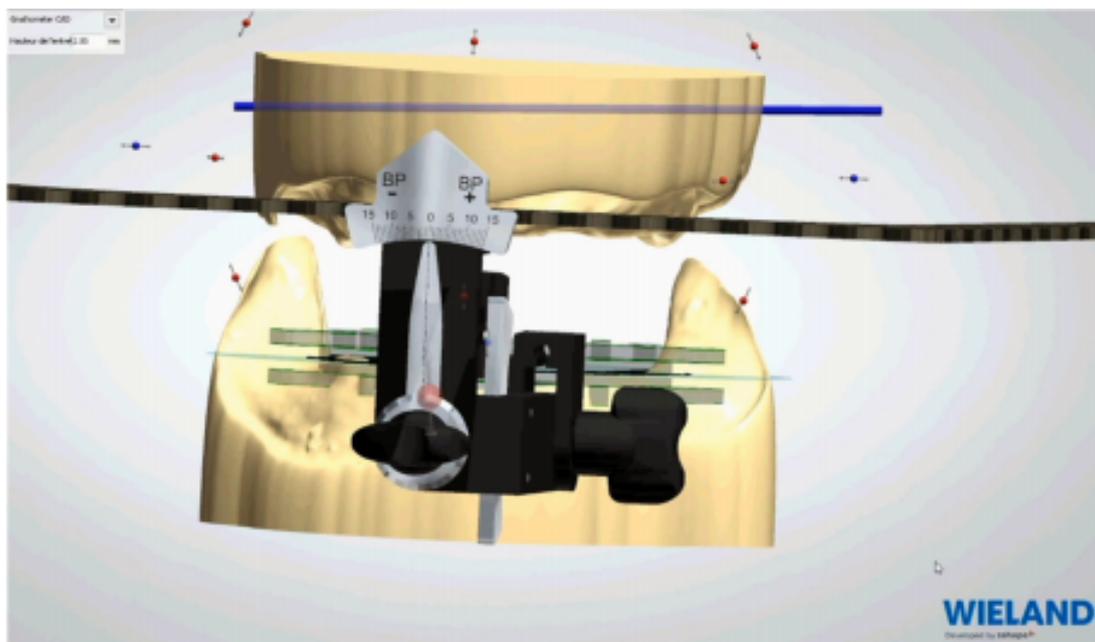


Figure n°26 : Numérisation des modèles avec positionnement sur l'articulateur virtuel [22]

Les PEI et bases d'occlusion sont alors conçus grâce à un logiciel spécifique. Certains logiciels (3Shape par exemple) proposent un design pour les bases d'occlusion avec une hauteur réduite par rapport à la dimension verticale enregistrée afin de laisser suffisamment d'espace pour le système d'enregistrement intra-buccal (Gnathometer®) et pour éviter toute interférence entre les bases d'occlusion et les arcades.

Lorsque la conception est finalisée, les bases d'occlusion sont usinées. Le système WIELAND® d'Ivoclar® a recours à deux Usineuses 5 axes : le Zenotec Select Ion® et le Zenotec Select Hybrid®.



Figure n°27 : PEI maxillaire et mandibulaire [22]

Les empreintes secondaires, fonctionnelles, sont réalisées par méthode conventionnelle. La RIM est enregistrée au même rendez-vous, à l'aide du Gnathometer®. Ce dispositif se clipse sur les PEI et ne nécessite pas de collage. Un point de vissage / dévissage est exploité afin de moduler la dimension verticale d'occlusion. Une plaque circulaire permet de supporter le matériau d'enregistrement afin de sauvegarder la cinétique mandibulaire [22].



Figure n°28 : Gnathometer® [22]



Figure n°29 : Gnathometer® positionné sur le PEI après empreinte secondaire conventionnelle [22]

La DVO est déterminée et ajustée en vissant ou dévissant le pointeur central, celle-ci est donc facile à réaliser car ce processus évite toute interférence, souvent source de déviation mandibulaire. La plaque de réception circulaire est teintée afin d'enregistrer la cinétique mandibulaire. Un arc gothique de Gysi est utilisé. Il est ensuite nécessaire d'utiliser un silicone afin de façonner le support labial. Les repères sont marqués (centre inter-incisif, ligne du sourire, projection des tangentes aux ailes du nez).

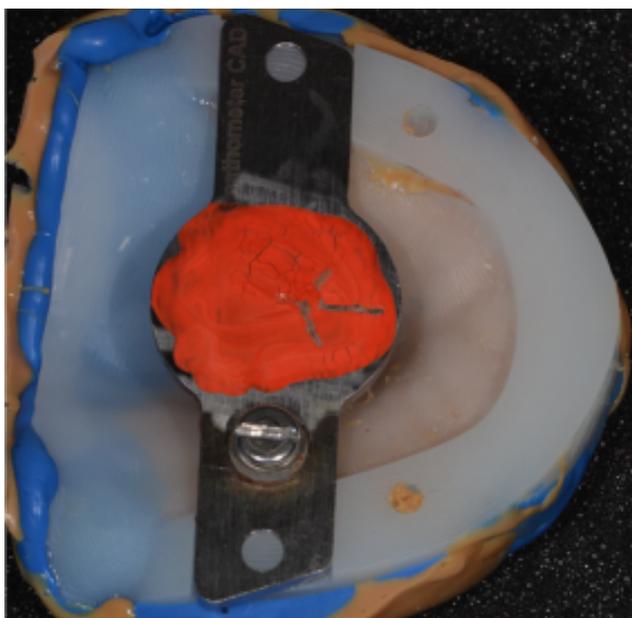


Figure n°30 : Empreintes physiques avec enregistrement relation inter-maxillaire [22]

Une fois l'enregistrement inter-maxillaire réalisé, les données sont numérisées afin d'obtenir des modèles montés sur l'articulateur virtuel.



Figure n°31 : Modèles maxillaire et mandibulaire positionnés dans un scanner [22]

4.4.2.2 AvaDent® Digital Denture

On réalise une empreinte définitive avec les matériaux d'empreinte adaptés, à l'aide des plateaux thermoplastiques disponibles chez Avadent. Il y a différentes tailles disponibles. Le choix du porte-empreinte est établi après mesure de la crête édentée. On peut placer le porte-empreinte dans de l'eau chaude (77 degrés C) et l'adapter sur le modèle primaire.

Le porte-empreinte est positionné en bouche afin de vérifier qu'il couvre toutes les zones anatomiques à enregistrer pour l'empreinte. L'empreinte est ensuite réalisée comme la méthode conventionnelle avec un marginage puis un surfaçage.

Il convient ensuite de choisir un AMD (Anatomic Measuring device) adapté à la largeur de crête résiduelle. Il y a 3 tailles différentes disponibles. Ainsi, c'est la zone mesurée la plus large de la crête qui servira à déterminer l'AMD [6].



Figure n°32 : AMD mandibulaire et maxillaire [6]

Si la crête résiduelle est entre deux tailles, on choisit l'AMD correspondant à la taille du dessous. Il faut ensuite estimer la dimension verticale par méthode conventionnelle. Une fois que la DV adaptée est déterminée par le praticien, celui-ci peut enduire le plateau maxillaire d'un matériau PVS par voie intra-orale afin de stabiliser l'AMD sur la crête édentée. On réalise la même chose sur le plateau mandibulaire.



Figure n°33 : Réalisation de l'empreinte par méthode conventionnelle, avec AMD [6]

Lorsque les deux plateaux (AMD) sont positionnés en bouche, le praticien peut alors positionner et fixer la règle AvaDent®. Cette règle doit être positionnée parallèlement à la ligne bipupillaire et l'angle utilisé pour corrélérer l'AMD avec le montage virtuel doit être enregistré. Avec le tracé réalisé sur le plateau mandibulaire, il faut ajuster la DV en élevant ou abaissant le palier central maxillaire en vissant le raccord positionné sur le côté de l'AMD.

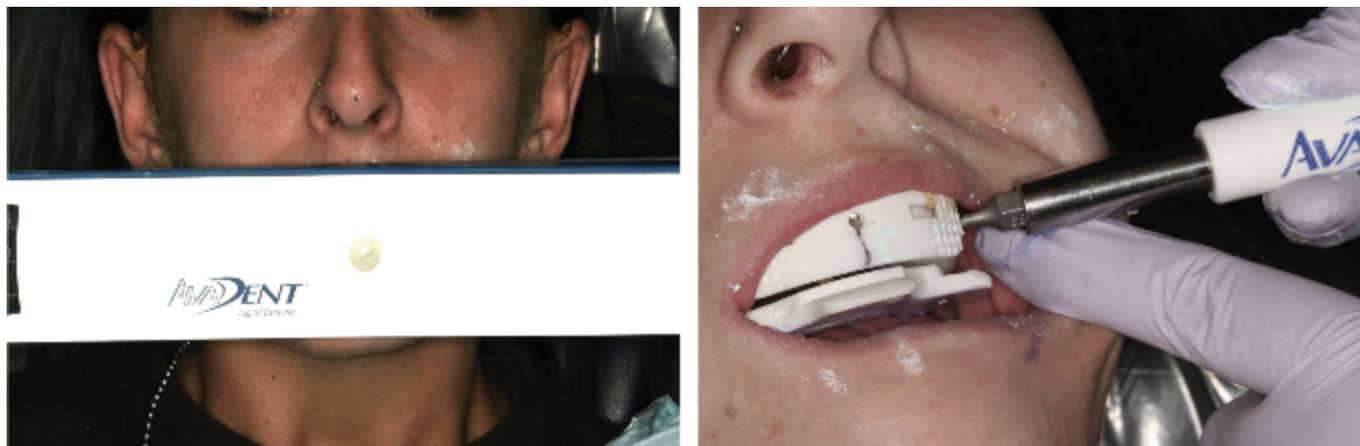


Figure n°34 : Règle Avadent® [6]

Figure n°35 : Ajustage de la DV en modifiant la hauteur du palier maxillaire [6]

Le praticien vérifie alors et valide la dimension verticale. La relation centrée quant à elle se confirme grâce au tracé de l'arc gothique. Une fois la relation centrée validée, on enduit la pointe de la tige du plateau maxillaire avec un agent de marquage et on enduit le plateau mandibulaire d'un spray occlusal ou on dépose un papier occlusal afin d'enregistrer la RC et la cinétique mandibulaire. Le praticien demande alors au patient d'emmener la mandibule le plus à l'arrière possible, de faire des latéralités.

Le tracé gothique est alors obtenu et il est observable sur le plateau mandibulaire. Un trou est réalisé au niveau de l'extrémité des flèches, correspondant à la RC. Le plateau est ensuite remis en bouche, et le trou réalisé au niveau mandibulaire permettra de positionner la mandibule en RC en enfonçant la pointe de la tige maxillaire dans le plateau mandibulaire. Une fois la mandibule positionnée en RC il faut injecter du matériau d'empreinte entre les deux plateaux afin d'enregistrer la relation inter-maxillaire [6,37].



Figure n°36 : Injection de matériau d'empreinte entre les plateaux pour enregistrer la relation inter-maxillaire [6]

Il faut ensuite retirer les excès qui interfèrent avec le positionnement labial. Le support de la lèvre doit donc être ajusté à la hauteur souhaitée.

Pour la sélection de la forme et de la dimension des dents, un guide esthétique transparent est disponible en 3 versions. Le guide sélectionné est positionné puis il suffit d'établir la hauteur des dents à l'aide de la ligne du sourire et on marque cette ligne sur le guide esthétique. Les repères des centres inter-incisifs et positionnement des canines est marqué. Ce guide esthétique est collé au composite afin de le positionner sur l'AMD maxillaire.



Figure n°37 : Guide esthétique collé au composite sur l'AMD maxillaire [6]



Figure n°38 : guide esthétique positionné sur l'AMD maxillaire [6]

Les empreintes et l'enregistrement de la relation inter-maxillaire sont ensuite envoyées au labo puis scannées afin de numériser les données cliniques et d'obtenir un aperçu virtuel.

Cette technique comporte néanmoins une limite : la résorption extrême des crêtes alvéolaires. En effet, les AMD préconçus manquent de hauteur et on ne peut donc pas enregistrer le rapport inter-maxillaire. Un espace inter-arcades trop important nécessite de contourner la méthode préétablie afin de pouvoir concevoir la prothèse amovible complète [37].

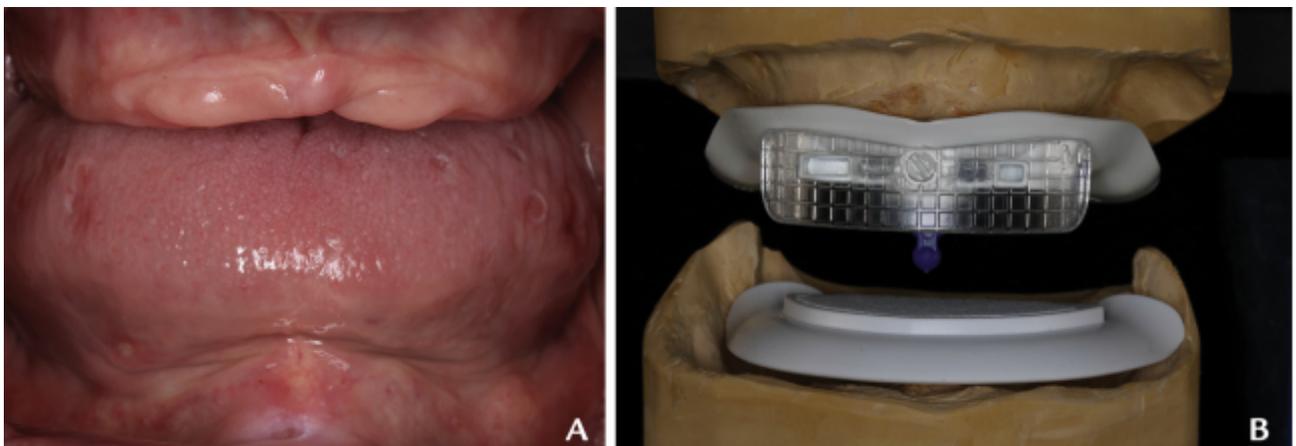


Figure n°39 : Arcades maxillaire et mandibulaire avec résorption extrême (A) et AMD rendant l'enregistrement de la RIM impossible (B) [37]



Figure n°40 : Panoramique d'un patient présentant une résorption extrême des arcades maxillaire et mandibulaire [37]

Il suffit alors de réaliser par méthode conventionnelle des empreintes (au niveau des arcades avec résorption extrême) puis de concevoir numériquement les bases d'occlusion. L'association de la méthode conventionnelle à la méthode numérique permet de contourner les nombreuses limitations du numériques.

4.4.3 Relation inter-maxillaire pour une prothèse complète d'usage succédant à une prothèse immédiate

Dans le cas où les prothèses immédiates sont satisfaisantes pour le patient mais aussi le praticien, sur le plan esthétique et fonctionnel, on peut réaliser la prothèse d'usage en deux rendez-vous grâce à la méthode numérique [38].

Lors du premier rendez-vous, on réalise les empreintes par méthode conventionnelle. Il convient donc de raccourcir les bords prothétiques de 1 mm afin de créer l'espace suffisant pour le matériau d'empreinte. Ensuite on procède à l'étape de marginage puis de surfaçage. L'empreinte est réalisée dans une technique dite « closed mouth technique ». Cette technique consiste à insérer les prothèses du patient en bouche, chargées du matériau d'empreinte, puis le patient ferme la bouche et positionne celle-ci en intercuspidie maximale. Les excès au niveau des dents prothétiques sont éliminés à l'aide d'un scalpel.

Une fois l'empreinte réalisée, le scanner intra-oral est utilisé hors bouche afin d'enregistrer l'intrados et l'extrados de la prothèse. Ensuite les prothèses immédiates sont replacées en bouche et la relation inter-maxillaire est enregistrée avec de la cire Aluwax. La RIM est alors scannée avec les modèles hors bouche avec la caméra intra-orale. Lorsque le scan est réalisé, il faut retirer le matériau d'impression puis rebaser si nécessaire. Le patient repart donc avec ses prothèses en bouche.

Le fichier STL des prothèses immédiates et de la relation intermaxillaire est envoyé au laboratoire. Les modèles sont ensuite montés sur l'articulateur virtuel et la prothèse amovible d'usage pourra alors être confectionnée [38].

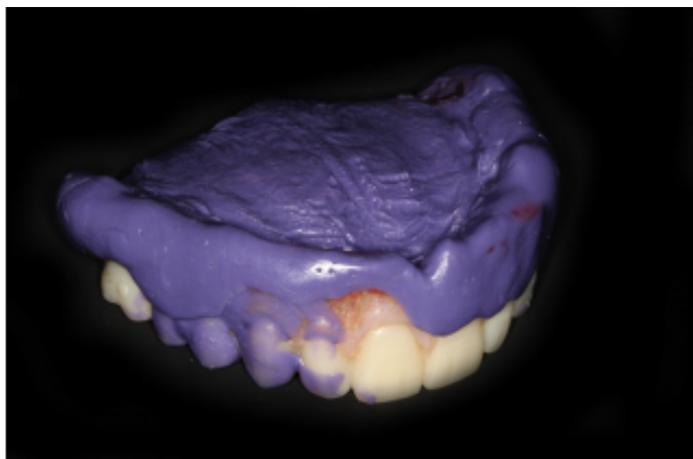


Figure n°41 : Empreintes réalisées par méthode conventionnelle avec la prothèse existante, puis scan de celles-ci, individuellement et en occlusion [38]

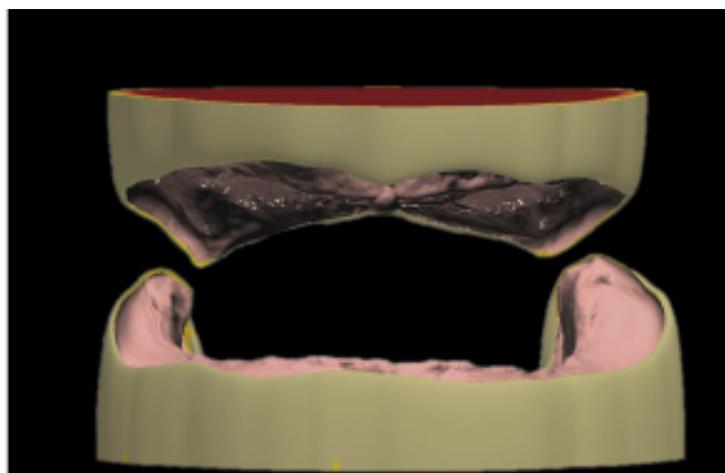
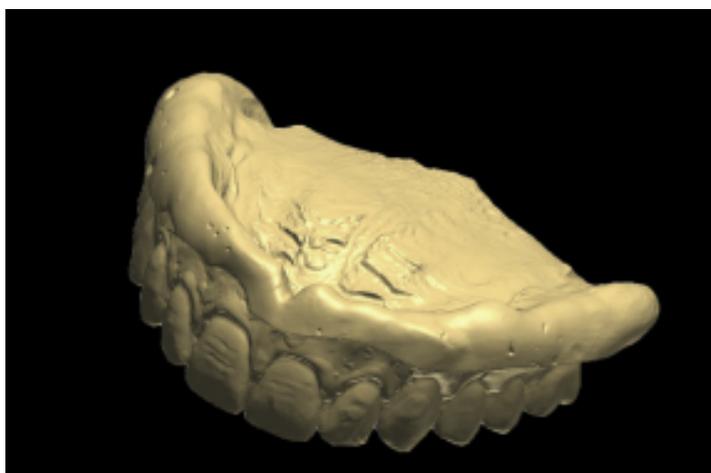


Figure n°42 : numérisation des arcades et de la relation inter-maxillaire [38]

4.4.4 Scan facial

Le flux de travail pour les prothèses numériques avec une numérisation en 3 dimensions permet l'intégration de scans faciaux pour la confection des prothèses. L'avantage de ces scans est qu'ils permettent de fournir une vue en 3 dimensions et une simulation de la disposition des dents sur le patient.

La simulation faciale par ordinateur peut être utile cliniquement car elle permet d'optimiser la disposition des dents virtuelles mais aussi de communiquer avec le patient. On réduit ainsi le risque d'erreur grâce à la prévisualisation du résultat.

Les développements technologiques récents dans le domaine de la numérisation extra-orale du visage ont fourni des systèmes numériques simples et abordables, basés sur des applications sur téléphone portable. Grâce à la collection d'un maximum d'informations anatomiques (os, crêtes édentées, dents, face, profil...) par des outils numériques, un patient dit virtuel (ou numérique) est généré. Celui-ci intègre et fusionne toutes les données préalablement enregistrées. Chez les patients dentés, le repère commun est la denture.

Cependant, chez les patients édentés, des artifices sont nécessaires pour permettre la fusion et l'alignement / superposition des scans intra-oraux des crêtes édentées, des scans péri-oraux (nez, bouche, menton) et des scans faciaux. L'incorporation de toutes les données numériques permet ensuite d'optimiser la position individuelle des dents lors de la confection des prothèses par CAO [18].

Après avoir scanné les bases d'occlusion, en intra-oral ou extra-oral, certaines caméras optiques permettent de scanner la zone péri-orale et le nez. Les bases d'occlusion doivent être positionnées en bouche pendant que le patient sourit. La caméra enregistre alors la zone péri-orale, le nez et le menton. Le rapport des bases d'occlusion avec les lèvres est enregistré. Le scan est exporté et traité par un logiciel adapté. [18]

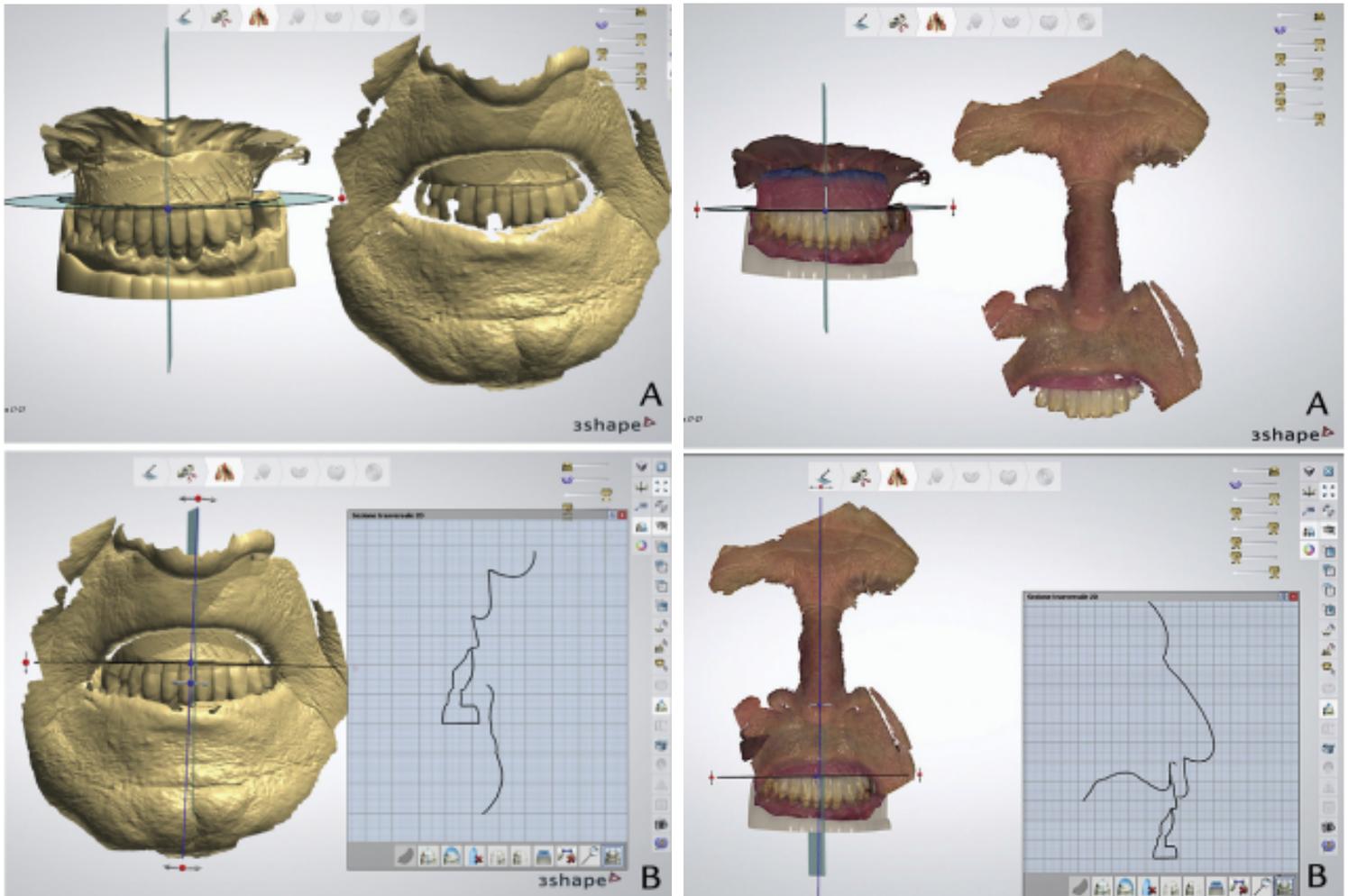


Figure n°43 : Numérisation des données obtenus par scans faciaux [18]

A l'aide du logiciel on peut supprimer les bases d'occlusion afin d'obtenir une numérisation des tissus péri-oraux uniquement. Toujours avec les bases d'occlusion en place et avec le patient en train de sourire, un scan du visage entier peut être réalisé avec un téléphone portable. Des applications sont spécifiquement conçues pour réaliser un scan facial, telles que Bellus3D FaceApp®, Bellus3D Inc®.

Lorsque le scan facial est réalisé il est lui aussi exporté afin de le superposer / l'aligner avec les scans intra-oraux et péri-oraux.

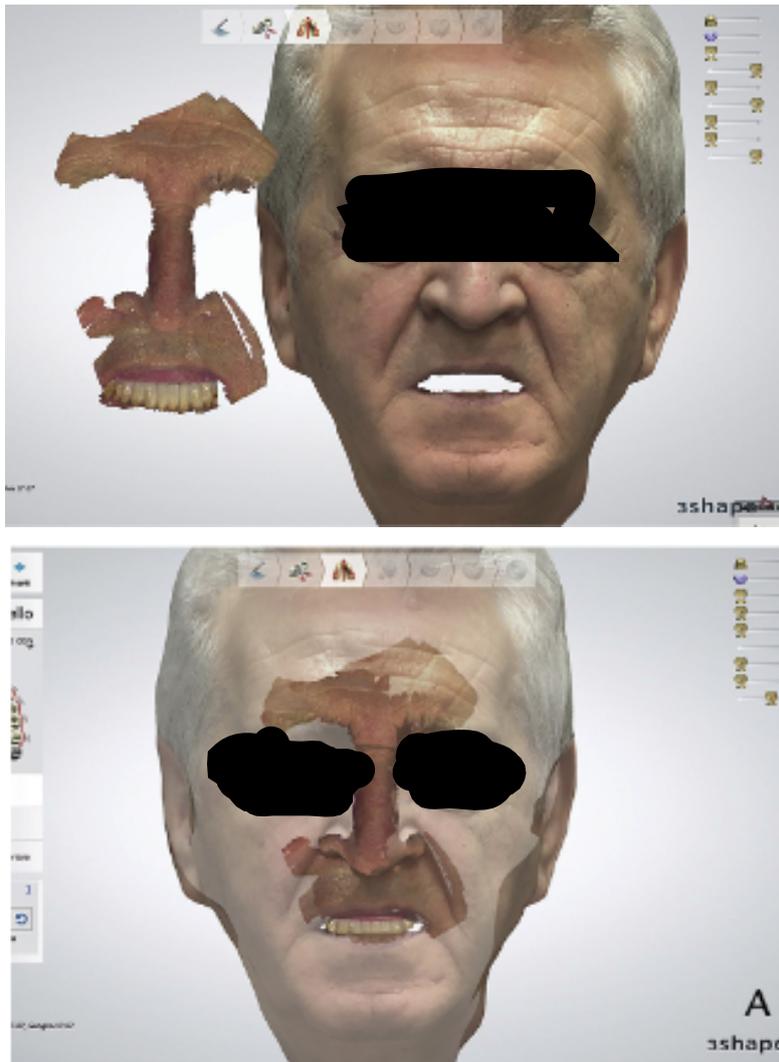


Figure n°44 : Superposition des différents scans faciaux [18]

Lorsque tous les scans sont importés et alignés il est possible de concevoir la prothèse par CAO grâce à un logiciel dédiée (dans l'exemple ci-dessus le logiciel utilisé est 3Shape et la caméra optique Trios 3 Color®).



Figure n°45 : Prévisualisation du patient avec ses prothèses (A) et situation clinique du patient avec celles-ci (B) [18]

Une autre méthode pour obtenir un scan facial de d'utiliser un scanner facial (Pritimiror Face Scanner® ; Pritidenta®) [35].



Figure n°46 : Scanner facial Pritidenta®

Le scan est effectué lors du même rendez-vous que celui de l'enregistrement de la RIM. Le patient doit être scanné dans 3 positions différentes :

- Visage neutre avec les lèvres fermées
- Visage souriant avec les lèvres légèrement ouvertes
- Visage avec bases d'occlusion en place et écarteur

Ces 3 scans sont alors alignés virtuellement avec le logiciel associé au scanner. (Priti Imaging® ; Pritidenta®) [35].



Figure n°47 : 3 scans du patient réalisés avec scanner Priditenta [35]

Les bases d'occlusions seront quant à elles scannées en laboratoire, et les fichiers STL seront alignés avec les scans faciaux.

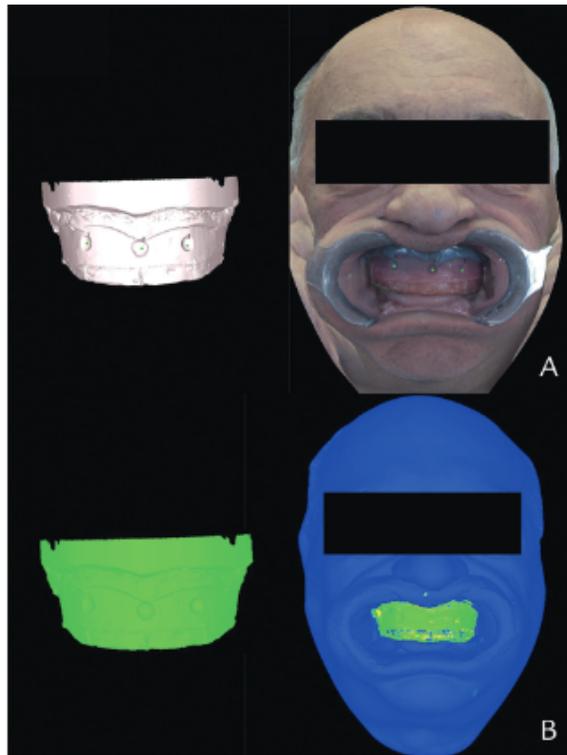


Figure n°48 : Superposition des scans faciaux et des bases d'occlusion scannées en laboratoire [35]

L'ensemble des données est ensuite exporté au fichier STL à un centre de FAO. L'idée principale est d'intégrer par la suite une configuration de dents virtuelles avec une réplique 3D du visage du patient afin d'évaluer numériquement l'impact du changement de position, de forme et de couleur des dents sur l'apparence du visage.

4.5 Pour la réalisation des maquettes et le montage des dents

4.5.1 CAO

Une fois les données des étapes précédentes acquises à partir de scans, celles-ci sont stockées au format STL et les logiciels de CAO permettent la conception de la prothèse. Les logiciels offrent la possibilité d'adaptations individuelles lors de la conception et l'alignement des différents scans afin de positionner les arcades selon le plan d'occlusion [12,21,29].

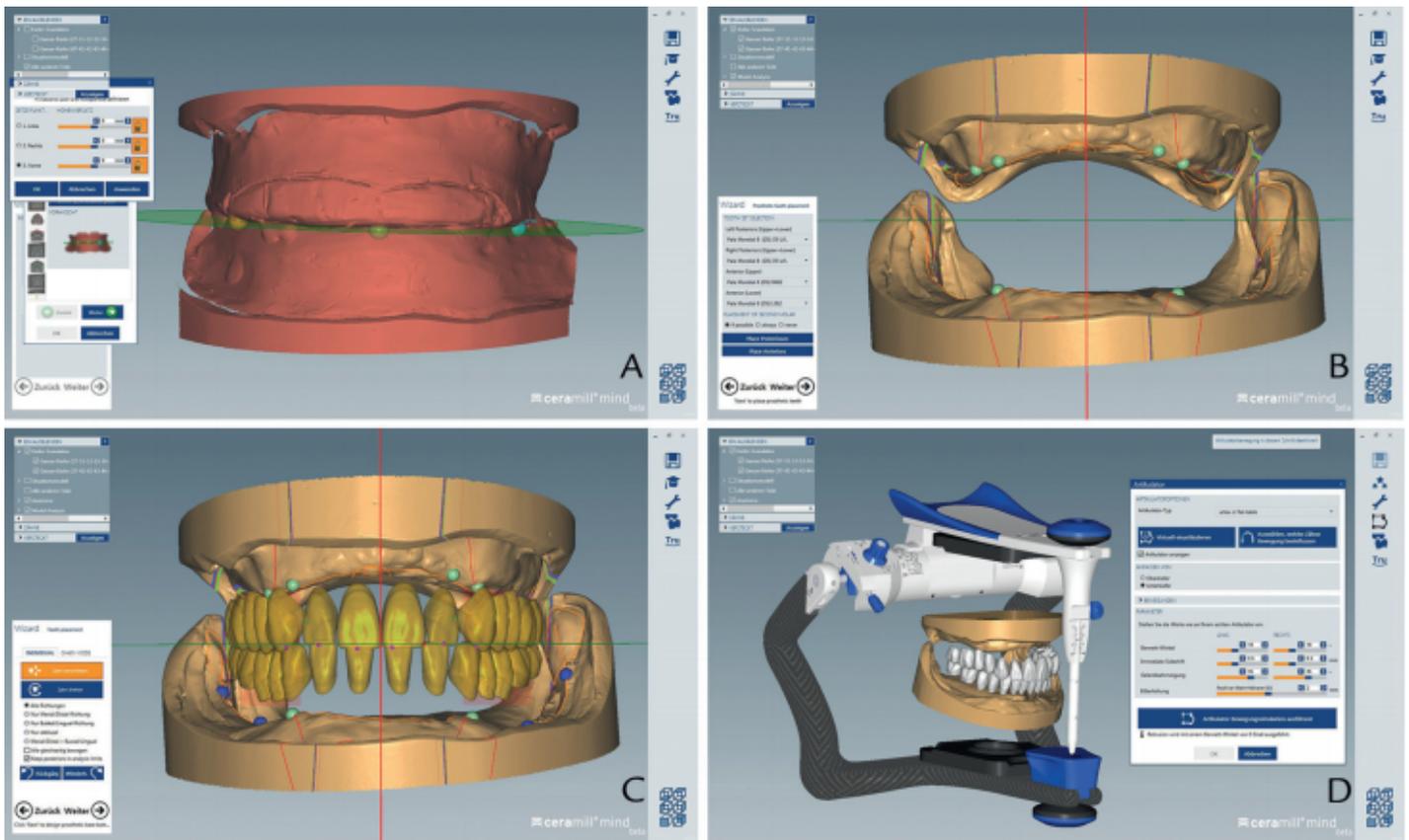


Figure n°49 : Positionnement numérique des arcades après superposition des scans [12]

Pour la CAO des prothèses amovibles complètes, certains logiciels comprennent une bibliothèque de dents disponible afin de sélectionner celles-ci selon la forme et la taille voulues. Les dents sont positionnées selon le concept occlusal souhaité, en respectant les informations enregistrées à partir des bases d'occlusion [21].

Une fois que les prothèses complètes sont conçues numériquement, un aperçu est disponible à partir du logiciel. Des modifications mineures sont toujours réalisables pour le positionnement des dents avant la fabrication des prothèses complètes ou d'un modèle d'essayage. Un fichier STL est créé à partir de la conception assistée par ordinateur des prothèses complètes, qui servira à la fabrication de celles-ci [21,36].

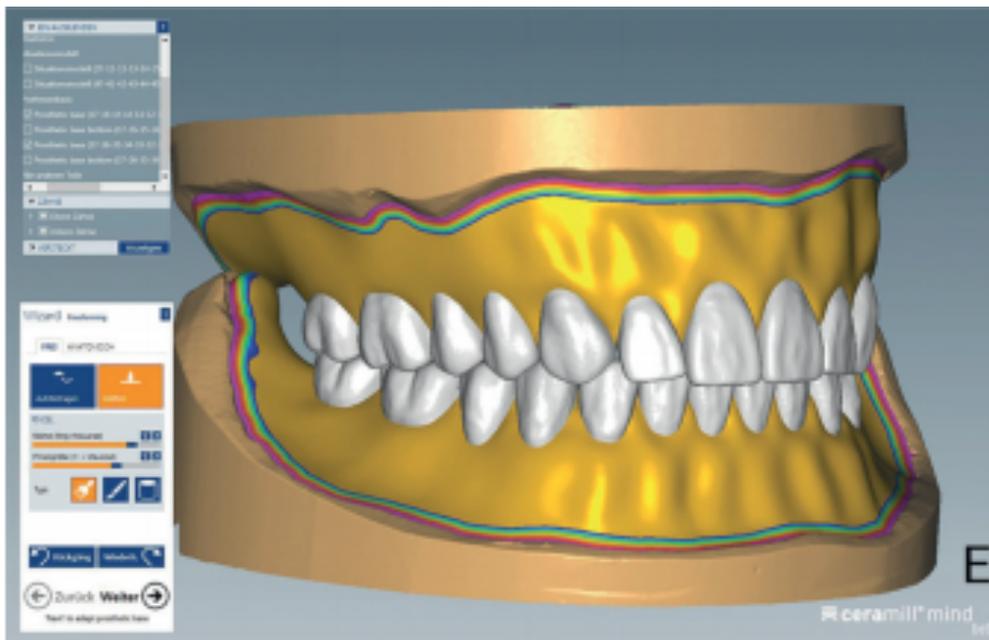


Figure n°50 : Montage de dents via logiciel de CAO [12]

Par rapport à la méthode conventionnelle, cette procédure comporte plusieurs avantages [12] :

Avantages du montage de dents via conception assistée par ordinateur

- La méthode numérique permet une meilleure visualisation de la morphologie des arcades édentées
- Les différentes vues en coupe permettent une identification simplifiée des lignes médianes des crêtes alvéolaires par exemple
- L'agencement des dents artificielles est parfaitement reproductible, ce qui permet alors des résultats prévisibles
- Avec l'aide de l'articulateur virtuel, l'occlusion statique et dynamique sont prises en compte, grâce à la numérisation de l'enregistrement intermaxillaire
- Un arrangement fonctionnel des dents est possible, notamment au niveau du bloc antérieur avec une position correcte au niveau des bords libres des incisives maxillaires, un support idéal des lèvres, etc.
- Les dents postérieures sont positionnées selon le concept occlusal choisi par le praticien (occlusion bilatéralement équilibrée...)
- Le montage de dents numérique peut être réalisé en un temps nettement réduit par rapport au montage conventionnel
- Le montage virtuel peut être envoyé au praticien afin d'avoir son approbation ; cela améliore donc nettement la communication entre le laboratoire et le praticien.

Tableau n°1 : Avantages du montage de dents via conception assistée par ordinateur

4.5.2 Visualisation du visage du patient avec montage virtuel

Lorsqu'un scanner facial est préalablement réalisé, des logiciels de CAO permettent d'avoir un aperçu virtuel du patient avec le montage de dents en bouche. Le montage est donc réalisé par CAO puis importé dans le scanner facial grâce au logiciel. Une évaluation virtuelle de l'arrangement des dents permet d'optimiser la position du plan d'occlusion par rapport à la ligne bipupillaire et au plan de Camper.

Les réglages peuvent aussi être réalisés au niveau du bloc antérieur maxillaire en modifiant les hauteurs et la position des dents. Une fois le montage virtuel validé, le fichier est envoyé en centre de FAO [14,35].

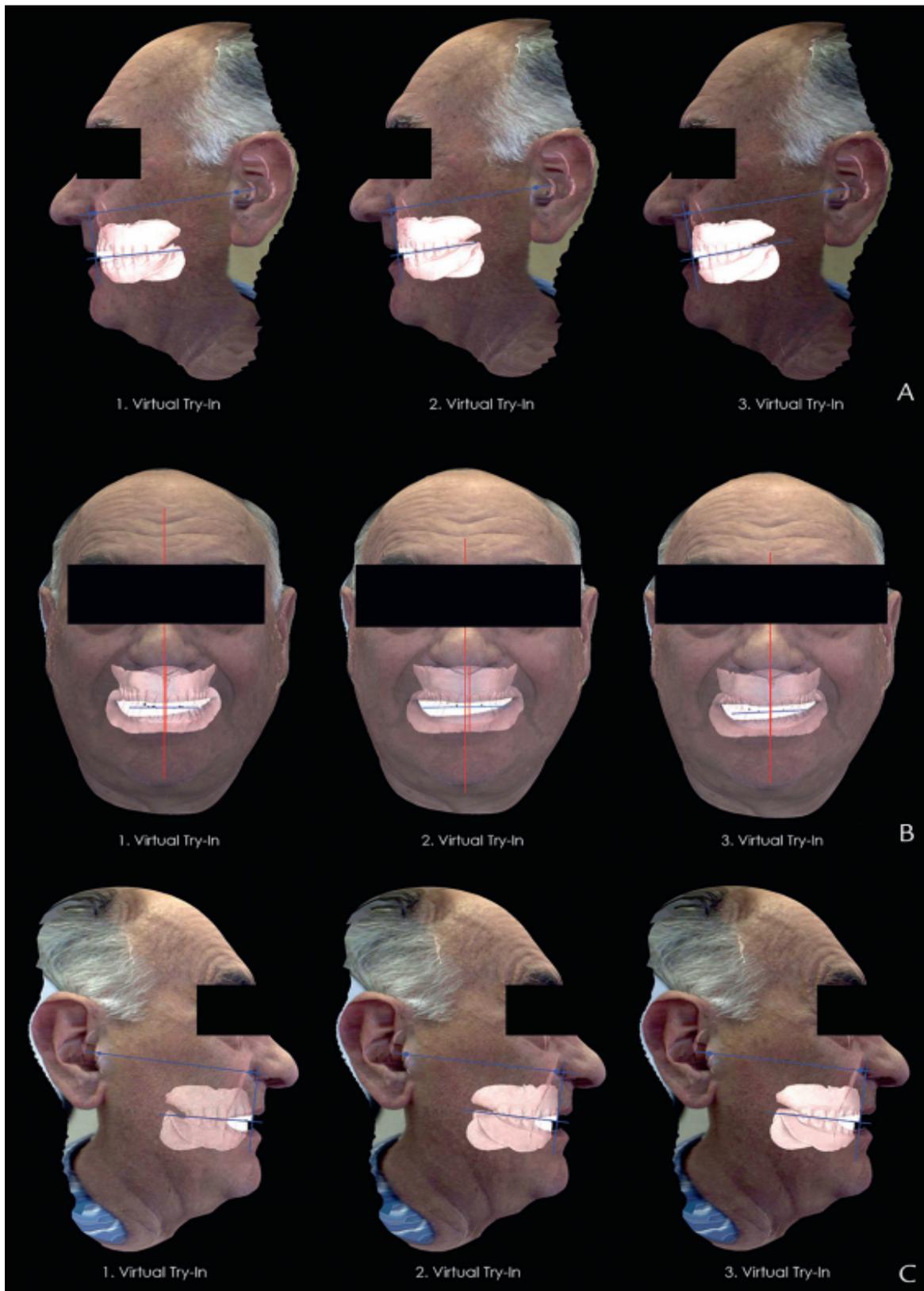


Figure n°51 : Prévisualisation du patient avec le montage de dents virtuel [35]

Par ailleurs, le choix des dents et leur disposition pour le montage peuvent être réalisés automatiquement par le logiciel de CAO, ou bien manuellement. Il est aussi possible de concevoir la disposition des dents et leur forme sur le logiciel.

La disposition virtuelle des dents et leur fabrication a été développée par de nombreux systèmes comme Denta®, Avadent®, Ceramill®, Dentalwings®, 3Shape®...

Cependant, la disposition virtuelle des dents n'a pas encore été décrite en détail. Il existe des systèmes (comme Dentalwings®, Ivoclar Digital Denture®...) qui impriment un ensemble de dents artificielles en un seul bloc, ce qui permet une résistance accrue. Par ailleurs, certains systèmes ne prennent pas en compte les interférences occlusales lors de la conception (3Shape®).

Le temps nécessaire au montage virtuel des dents est inférieur à 10s lorsque cela est fait de manière automatique, beaucoup plus rapide qu'un montage conventionnel par le prothésiste. [39]

4.5.3 Essayage avec un modèle conçu par FAO

Lorsque le montage de dents virtuel est validé, il est possible d'usiner un modèle d'essai, qui nécessite une séance clinique supplémentaire mais permet de valider les aspects esthétiques et fonctionnels du montage de dents. Ce modèle est fabriqué à l'aide d'une usineuse à 5 axes à partir d'un bloc de résine polyméthacrylate de méthyle (PMMA) blanche. Cela donne en bouche un aperçu bien plus proche de la prothèse définitive [22].

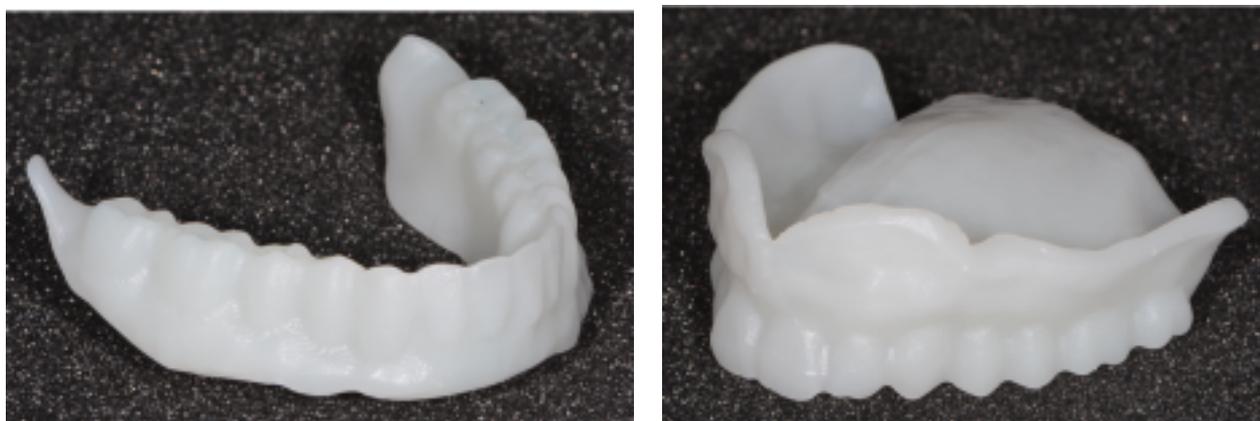


Figure n°52 : Maquettes d'essayage en résine polyméthacrylate [22]

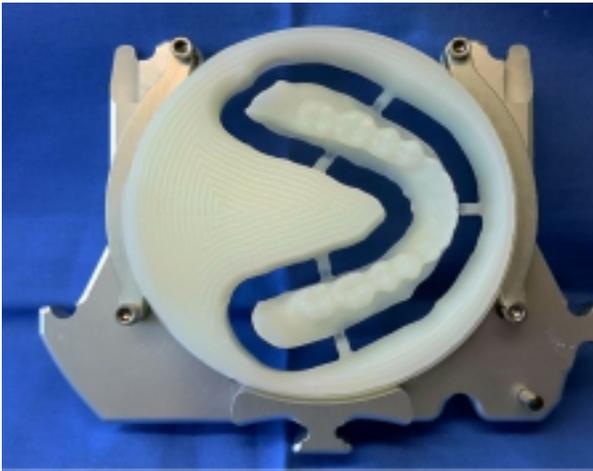


Figure n°53 : Bloc de résine PMMA après usinage [22]

Figure n°54 : Maquettes d'essayage en bouche [22]

Il est aussi possible d'avoir recours à une imprimante 3D afin de confectionner un modèle d'essai, par l'utilisation d'acide polylactique (PLA), un matériau peu onéreux [14].

Ces modèles d'essai peuvent encore être modifiés en clinique en retouchant la forme des dents, par soustraction ou par addition (avec résine, composite ou cire). La position des dents peut aussi facilement être modifiée car ces matériaux sont thermoplastiques. Un instrument chauffé suffit donc pour séparer ou détacher les dents. Les dents sont ensuite facilement repositionnées avec de la cire [14].

Par ailleurs, si des caractéristiques sont à modifier (décalage des centres inter-incisifs, soutien de lèvre incorrect, mauvaise orientation du plan occlusal...) le praticien communique une évaluation chiffrée au prothésiste. Ce dernier peut modifier la valeur de ces paramètres dans le logiciel pour correction sur le montage virtuel. Cela n'est valable que pour des modifications mineures, sinon une nouvelle étape sera nécessaire pour un nouvel essai [4].

D'autres possibilités de modèles d'essai existent : on peut aussi fabriquer par FAO la prothèse sans fabriquer les dents. Les modèles conçus présentent alors des espaces dans lesquels de la cire est en place afin de positionner des dents pré-fabriquées. Il est aussi possible de demander un bourrelet d'occlusion en cire par exemple [24].



Figure n°55 : Maquettes d'essayage avec bourrelets en cire au niveau postérieur [24]

Le numérique apporte de nombreuses possibilités qui assurent une prédictibilité et reproductibilité très prometteuses par rapport à la méthode conventionnelle. Cette étape d'essayage pourra être évitée grâce aux scans faciaux [24].

Ces modèles d'essai peuvent être testés fonctionnellement et esthétiquement par le patient chez lui, afin d'avoir un meilleur aperçu qu'avec les maquettes traditionnelles en cire. Une fine couche de cire est alors déposée sur l'extrados de la maquette afin d'avoir une esthétique correcte [1].



Figure n°56 : Maquettes d'essayage avec fine couche de cire sur l'extrados [1]

4.6 Usinage / impression des dents et des prothèses complètes

4.6.1 Prothèses usinées

Lorsque le montage virtuel, voire les maquettes d'essayage sont validées, les prothèses complètes d'usage peuvent alors être confectionnées.

Le fichier STL est alors transféré au centre de fabrication pour permettre l'usinage des prothèses. Celles-ci sont réalisées à partir de disques de résine PMMA et d'une usineuse 5 axes. (Zenotech® pour Wieland Dental® par exemple)

L'usinage est réalisé en 2 étapes : d'abord la partie superficielle de la prothèse, conçue avec des évidements afin d'y placer les dents artificielles. Puis la base (intrados) de la prothèse est ensuite usinée. En cas de faible hauteur prothétique, l'usinage de l'intrados doit être réalisé après le collage des dents. Si cela est nécessaire, le talon d'une ou plusieurs dents sera usiné à la bonne dimension afin d'éviter qu'il soit trop long [1,22].

Une clef de positionnement est automatiquement conçue par les logiciels de CAO afin de permettre le positionnement précis des dents dans les alvéoles une fois les prothèses usinées.

Les étapes d'usinage de l'intrados et de l'extrados de la prothèse nécessitent environ 80 minutes.

Une fois les prothèses usinées, celles-ci sont essayées et équilibrées en clinique de manière conventionnelle [21,22].

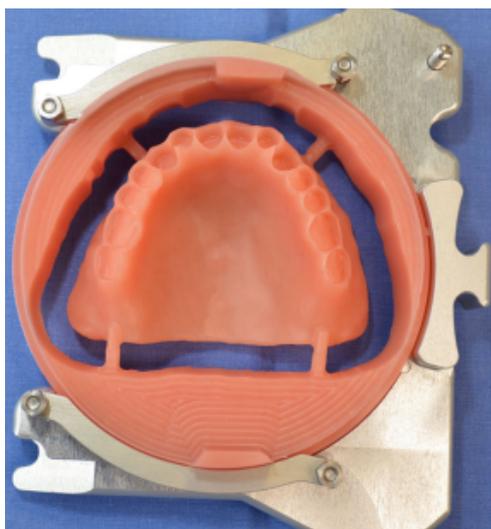


Figure n°57 : Prothèse amovible complète réalisée par usinage [22]

Figure n°58 : Collage des dents artificielles dans les alvéoles conçues par CAO [24]



Figure n°59 : Clef de repositionnement conçue automatiquement par CAO pour permettre le bon positionnement des dents artificielles [4]

Les prothèses usinées à partir d'un bloc en Polyméthacrylate de Méthyle (PMMA) présentent certains avantages :

- Excellent polissage possible
- Plus faible quantité de monomères résiduels
- Absence de retrait de polymérisation
- Une porosité diminuée et une adhérence de Candida Albicans à la prothèse réduite.
- L'absence de retrait de polymérisation permet donc un ajustage très précis des prothèses et donc une meilleure rétention.
- La conception assistée par ordinateur permet de définir l'épaisseur minimale des bases de prothèse et d'ajouter les structures et caractéristiques anatomiques sur les surfaces polies de prothèses [7,24,36].

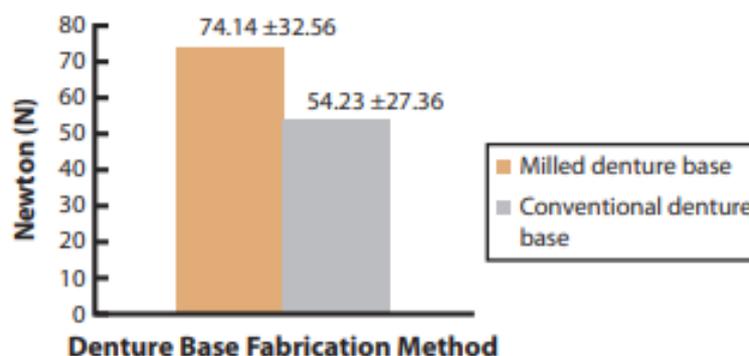


Figure n°60 : Comparaison de la rétention entre les prothèses usinées et celles réalisées par méthodes conventionnelles [7]

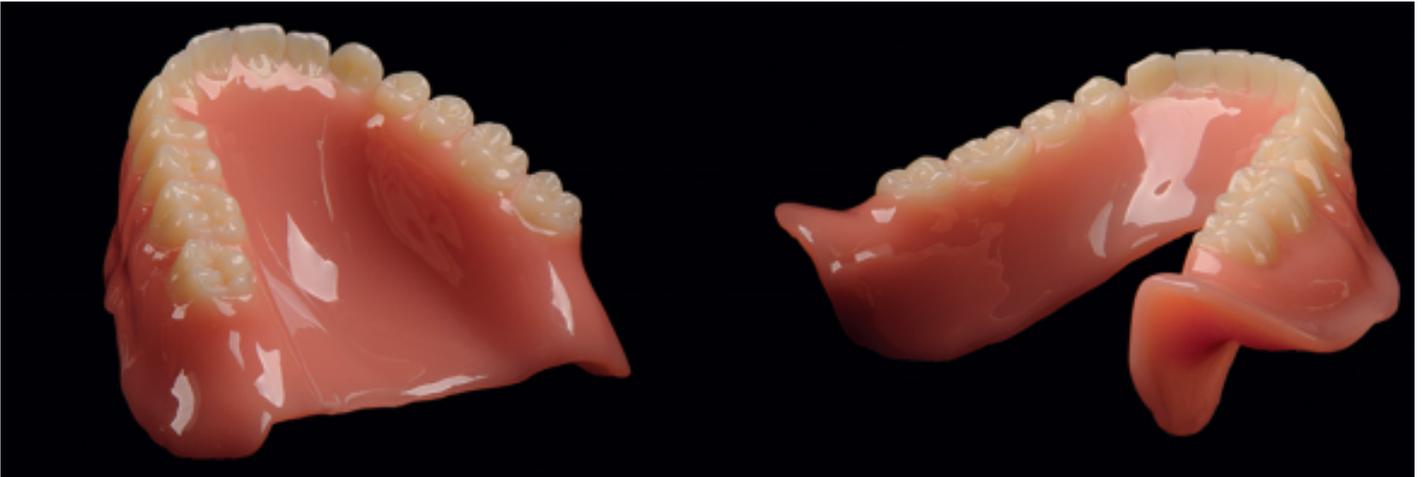


Figure n°61 : Prothèses amovibles complètes réalisées par CFAO [35]

Par ailleurs, la prédictibilité de la prothèse usinée est très prometteuse grâce aux logiciels de CAO qui offrent un aperçu du résultat final.



Figure n°62 : Comparaison de la prévisualisation sur logiciel de CAO et du résultat final [35]

4.6.2 Prothèses fabriquées avec imprimante 3D : Rapid Prototyping

Ce procédé, appelé plus communément l'impression 3D est un procédé par addition contrairement à l'usinage qui est un procédé par soustraction. À l'heure actuelle, la plupart des systèmes et laboratoires utilisent la méthode par usinage pour les prothèses d'usage tandis que l'impression 3D se limite aux modèles d'essayage.

Cependant, le processus d'usinage est à l'origine du gaspillage d'une grande quantité de matériau, qui est évitable en ayant recours au prototypage rapide 3D. Cette méthode pourrait être une solution plus durable car elle nécessite moins de matériau. La technique de prototypage rapide utilise une résine liquide photosensible de façon répétitive sur un support et cette résine est polymérisée par une source de lumière ultraviolette ou visible.

Une fois la prothèse fabriquée, une étape supplémentaire de polymérisation à la lumière est nécessaire afin de terminer le processus. Un retrait de polymérisation est donc possible. Par ailleurs, une couche résiduelle de résine non polymérisée peut rester sur les prothèses terminées, ce qui nécessite un rinçage complet avec un solvant approprié.

Des études ont montré que les prothèses fabriquées par Prototypage rapide apportent une satisfaction équivalente à celle apportée par les prothèses conventionnelles. Cependant, les prothèses fabriquées par usinage sont plus ajustées que les prothèses fabriquées par prototypage rapide [2,40].

Une imprimante 3D est beaucoup moins chère qu'une usineuse, son achat est donc envisageable pour des praticiens et laboratoires dentaires. La méthode par prototypage rapide constitue donc une méthode d'avenir au niveau écologique mais aussi financier. Cependant, des améliorations doivent être réalisées au niveau de l'ajustage. Des études sont nécessaires sur les matériaux utilisés en prototypage rapide en ce qui concerne les allergènes potentiels, sur la quantité de monomères résiduels, sur la stabilité des matériaux, leur biocompatibilité et propriétés mécaniques [2].

4.6.3 Usinage des dents

Lorsque l'extrados de la prothèse est fabriqué, deux choix s'offrent au laboratoire. Il peut soit y coller les dents artificielles, de façon unitaire, ou bien usiner / imprimer les dents en un bloc. Lorsque les dents sont fabriquées en un bloc, selon le logiciel de CAO, celui-ci est désigné par le terme 1SA. (1 set aligned) [41].

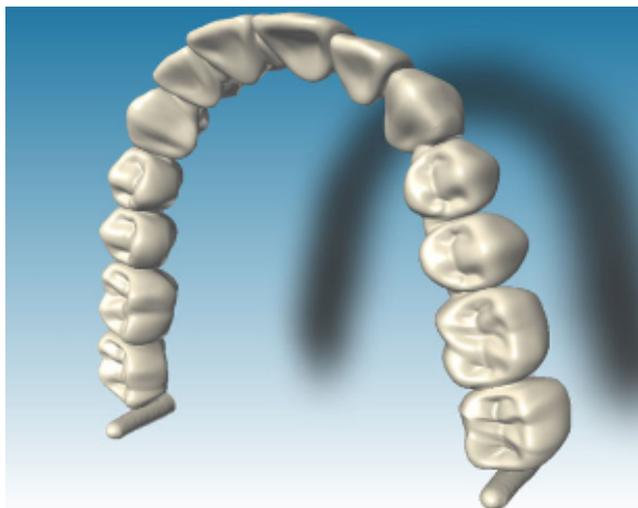


Figure n°63 : Dents artificielles conçues par CAO [41]



Figure n°64 : Bloc de dents usiné à gauche et imprimé en 3D à droite [41]

Le système 1SA permet de gagner du temps et offre une grande reproductibilité car les dents sont collées en un seul bloc, en un temps. Par ailleurs, celui-ci apporte une résistance supplémentaire. Il permet donc la réalisation d'une prothèse avec une occlusion et stabilité accrues [41].

5 Numérique et prothèse amovible complète : quelles applications cliniques en 2020 ?

5.1 Les limites du numérique

Le numérique en prothèse amovible complète se présente comme une solution d'avenir. Cependant, certaines étapes sont difficilement réalisables sans passer par la méthode conventionnelle.

En effet, la prise d'empreinte avec caméra optique est à l'origine d'écart importants avec la situation clinique. L'impossibilité d'enregistrer les tissus mous et la musculature périphérique empêche l'intégration de l'empreinte numérique lors de la conception de prothèses amovibles complètes par méthode numérique. Le praticien est donc à l'heure actuelle, obligé de coupler la méthode conventionnelle à la méthode numérique si celui-ci veut obtenir un résultat clinique satisfaisant.

Par ailleurs, la salive pose toujours un problème pour l'enregistrement des tissus. Actuellement, l'utilisation de l'empreinte optique n'est envisageable uniquement pour l'empreinte primaire, ce qui empêche les praticiens de bénéficier des nombreux avantages de l'empreinte optique, tels que le gain de temps, un meilleur confort du patient, le stockage des données [25–27].

Une étape cruciale lors de l'élaboration des prothèses amovibles complètes est l'enregistrement de la relation inter-maxillaire. Celle-ci est à l'origine de certaines limites du numérique. En effet, les systèmes proposant la conception de prothèses amovibles complètes ont recours à une association entre méthode numérique et méthode conventionnelle. Les relations inter-maxillaires sont enregistrées grâce à des bourrelets d'occlusion ou des dispositifs d'enregistrement spécifiques à un système. (AMD d'Avadent® par exemple)

L'ensemble est ensuite scanné, ce qui signifie que les contraintes liées à la méthode conventionnelles sont toujours d'actualité. Cette étape est très opérateur-dépendante, et nécessite de prendre en compte de nombreux paramètres [42].

Certains systèmes tels que Avadent® présentent une contre-indication en cas de forte résorption et de distance inter-crête trop importante. Cela rend l'enregistrement de la relation inter-maxillaire impossible et nécessite donc un enregistrement complet via la méthode conventionnelle [37].

Les logiciels de CAO en prothèse amovible complète permettent de réaliser le montage de dents très rapidement. Cependant, le défaut principal associé au numérique est le coût lié aux maquettes d'essayage en résine par rapport aux maquettes en cire de la méthode conventionnelle.

Ce type de modèle présente l'avantage de pouvoir être porté par le patient dans la vie courante et donne un meilleur aperçu du rendu final avec la prothèse complète d'usage [22].

En ce qui concerne la fabrication des prothèses, celle-ci se fait essentiellement par usinage à l'heure actuelle, ce qui est à l'origine d'un coût important lié à l'usineuse et aux matériaux utilisés en excès. Cela est à l'origine de gaspillage mais permet des prothèses d'une qualité supérieure à celles conçue par méthode conventionnelle [2].

La fabrication des prothèses amovibles complètes implique la collecte de nombreuses informations. Des aperçus numériques doivent être utilisés pour évaluer la conception avant de lancer le processus de fabrication. Cela permet de réduire grandement le risque de complication. Malheureusement, tous les fabricants et systèmes de CAO ne proposent pas de prévisualisation numérique.

Même si de nombreux systèmes proposent la fabrication de maquettes d'essayage, une prévisualisation permet d'éviter cette étape. Cependant, à l'heure actuelle, des études cliniques ont révélé que les aperçus numériques étaient difficiles à évaluer pour les fabricants [43].

Pour la prothèse amovible complète, tous les procédés de fabrication sont des systèmes de CFAO labside, ce qui signifie que les étapes numériques sont toujours obligatoirement déléguées au laboratoire. Par ailleurs, une autre limitation est que la méthode numérique demande du matériel spécifique, qui est donc à l'origine d'un coût non négligeable mais aussi d'une certaine formation pour le praticien et le prothésiste. Cette méthode numérique permet une excellente communication avec le laboratoire mais requiert de l'expérience car les données affichées sur l'écran sont à plus grande échelle qu'en bouche [4].

5.2 Les perspectives d'évolution

La prothèse amovible complète est une discipline complexe qui peut s'avérer être simplifiée grâce au numérique. Certains systèmes proposent une livraison de prothèse au 2^e rendez-vous, tels que AvaDent® (Global Dental Science), Dentca® (Dentca Inc.).

Ces systèmes sont très prometteurs car ils permettent d'éviter les nombreux rendez-vous liés à la méthode conventionnelle. Cependant, de nombreuses études sont nécessaires afin d'évaluer les différents systèmes disponibles, avec un recul suffisant, mais aussi d'évaluer les matériaux utilisés. L'axe principal de développement doit être celui des empreintes. L'enregistrement satisfaisant des tissus mous et de la musculature périphérique grâce à une caméra optique apportera un gain de temps et un grand confort pour le praticien et le patient [2,4].

L'étape de l'enregistrement inter-maxillaire présente de nombreuses méthodes en fonction du système utilisé, et nécessite toujours une expérience et une adaptation permanente du praticien. La procédure devra se standardiser dans les années à venir, afin de permettre à de nombreux praticiens de confectionner les prothèses amovibles complètes par méthode numérique.

La grande prédictibilité du résultat grâce au développement des scans faciaux permettra peut-être dans quelques années d'éviter l'étape d'essayage sans prendre le moindre risque, ce qui serait à l'origine d'un gain de temps majeur mais aussi de frais réduits (liés à la conception des modèles d'essai).

En ce qui concerne la fabrication des prothèses via FAO, la qualité des prothèses usinées est prometteuse d'un point de vue clinique. Cependant, le gâchis de matériaux et le coût lié à l'achat d'une Usineuse à 5 axes pourrait laisser place au prototypage rapide (impression 3D), qui est bien plus écologique et moins onéreux.

Le praticien pourra alors même investir dans une imprimante afin de diminuer les frais de laboratoire. Cependant le prototypage rapide nécessite encore des améliorations, que cela soit au niveau du risque de retrait de polymérisation, ou au niveau de la biocompatibilité et propriétés mécaniques des matériaux. Des études sont nécessaires, ainsi qu'un recul au long terme sur les prothèses déjà conçues par prototypage rapide [2].

En ce qui concerne la prévisualisation numérique, afin de permettre une meilleure prédictibilité du résultat, le développement des logiciels de CAO et des scans faciaux est nécessaire, mais aussi la formation des fabricants et praticiens.

Un aperçu numérique avec un mode d'affichage en grille permet une évaluation des distances entre dents prothétiques et zones anatomiques. Ainsi, la distance entre les dents antérieures maxillaires et la papille bunoïde peut être utilisée comme référence. Ces mesures ne peuvent être effectuées que dans un aperçu en grille. A l'heure actuelle, peu de systèmes fournissent cette vue quadrillée en millimètres, qui permet pourtant une prévisualisation plus objective et la réduction des complications futures [43].

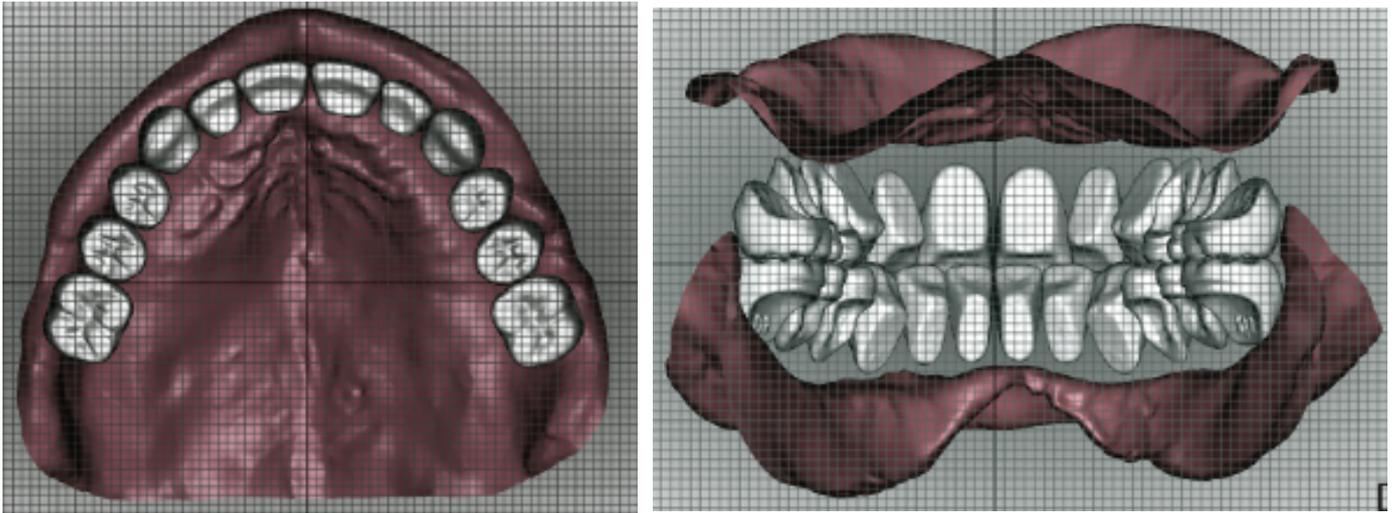


Figure n°65 : Vue quadrillée en millimètres sur le logiciel de CAO [43]

6 Tableaux de synthèse

6.1 *Les 5 principaux systèmes de conception numérique de prothèses amovibles complètes par rapport à la méthode traditionnelle*

	1 ^{ère} Séance	2 ^{ème} Séance	3 ^{ème} Séance	4 ^{ème} Séance	5 ^{ème} Séance
Méthode conventionnelle	Empreintes primaires	Empreintes secondaires	Enregistrement de la RIM	Essayage des maquettes	Livraison
 Ceramill Full Denture System	Empreintes primaires	Empreintes secondaires	Enregistrement de la RIM	<ul style="list-style-type: none"> • Essayage des maquettes • Vérification des aspects esthétiques et fonctionnels (optionnel) 	Livraison
 Wieland Digital Denture	Empreintes primaires à l'alginate + Enregistrement provisoire de la RIM	Empreintes secondaires + Enregistrement de la RIM	<ul style="list-style-type: none"> • Essayage des maquettes • Vérification des aspects esthétiques et fonctionnels (optionnel) 	Livraison	
 AvaDent Digital Denture	Empreintes définitives + Enregistrement de la RIM	<ul style="list-style-type: none"> • Essayage des maquettes • Vérification des aspects esthétiques et fonctionnels (optionnel) 	Livraison		
 WholeYou NexTeeth	Empreintes définitives + Enregistrement de la RIM				
 Baltic Denture System	Empreintes définitives + Enregistrement de la RIM	Livraison			

Tableau n°2 : Les 5 principaux systèmes de conception numérique de prothèses amovibles complètes par rapport à la méthode conventionnelle

6.2 Les outils numériques disponibles en PAC pour le chirurgien-dentiste

Outils numériques disponibles pour le chirurgien-dentiste selon l'étape clinique	
<u>Empreintes primaires</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra optique • Rétracteurs conçus pour le balayage intra-oral • Dispositifs d'empreinte personnalisés à un système : Centric Tray (Wieland Digital Denture®)
<u>Empreintes secondaires</u>	<ul style="list-style-type: none"> • PEI conçus par CFAO • Dispositifs d'empreinte personnalisés à un système : <ul style="list-style-type: none"> ○ AMD (Avadent®) ○ BD Keys (Baltic Denture System®) • Impossibilité d'obtenir un enregistrement fonctionnel avec un scanner intra-oral à l'heure actuelle
<u>Relation inter-maxillaire</u> <u>Choix de la forme et dimension des dents prothétiques</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Bases d'occlusion conçues par CFAO • Scan des bases d'occlusion une fois la RIM enregistrée par méthode conventionnelle • Dispositifs spécifiques à un système : <ul style="list-style-type: none"> ○ Gnathometer® (Wieland Digital Denture®) ○ Règle Avadent, guide esthétique transparent (Avadent®) • Scan des prothèses existantes avec cire Aluwax® • Scans faciaux : <ul style="list-style-type: none"> ○ Caméra optique ○ Scanner facial Pritidenta® ○ Application iPhone Bellus3D®
<u>Essayage</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Étape pouvant devenir optionnelle grâce à la prévisualisation virtuelle • Modèle conçu par FAO, en résine monobloc, afin de vérifier les aspects esthétiques et fonctionnels : le patient peut porter les maquettes au quotidien pour l'essayage • Possibilité de remplacer les dents postérieures mandibulaires par un bourrelet en cas de défaut d'enregistrement de la RIM
<u>Livraison</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Fabrication assistée par ordinateur, par usinage ou prototypage rapide (impression 3D) • Usinage ou prototypage rapide 1SA pour les dents prothétiques

Tableau n°3 : Outils numériques disponibles pour le chirurgien-dentiste selon l'étape clinique

6.3 Les outils numériques disponibles en PAC pour le prothésiste

Outils numériques disponibles pour le prothésiste selon l'étape de laboratoire	
<p><u>Traitement des empreintes primaires</u></p> <p><u>Réalisation des porte-empreintes individuels</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement numérique des empreintes par utilisation du cone beam • Traitement numérique des empreintes avec scanner • Traitement du scan intra-oral reçu • Traitement numérique des modèles en plâtre scannés • Impression 3D des modèles • Impression 3D des PEI
<p><u>Traitement des empreintes secondaires</u></p> <p><u>Réalisation des bases d'occlusion</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement numérique des empreintes par utilisation du cone beam • Traitement numérique des empreintes avec scanner • Impression 3D des modèles • Impression 3D des bases d'occlusion
<p><u>Réalisation des maquettes en cire</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Articulateur virtuel • Positionnement des arcades selon le plan d'occlusion • Bibliothèque virtuelle disponible pour le choix des dents • Conception personnalisée des dents via logiciel • Disposition des dents selon le concept occlusal choisi, via logiciel de CAO • Prévisualisation du résultat final grâce aux scans faciaux • Usinage / impression 3D en résine monobloc des maquettes • Usinage / impression 3D dents 1SA
<p><u>Fabrication des prothèses amovibles complètes</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Prévisualisation du résultat final, prédictibilité du résultat • Usinage des prothèses avec résine PMMA possible • Impression 3D des prothèses possible • Usinage / impression des dents prothétiques 1SA possible

Tableau n°4 : Les outils numériques disponibles en PAC pour le prothésiste

7 Conclusion

La prothèse amovible complète est une discipline complexe, dans laquelle chaque étape dépend de la qualité d'exécution de la précédente. C'est pour cela qu'il est essentiel que chaque étape soit parfaitement réalisée afin d'éviter les échecs cliniques. À l'heure actuelle, certaines limites persistent pour les techniques numériques, ce qui oblige les praticiens et laboratoires à les coupler avec les techniques conventionnelles.

La limite principale du numérique est le scan des crêtes édentées, pour lequel il est impossible d'enregistrer la musculature périphérique. Cela nécessite donc le passage obligatoire par la confection de PEI et la réalisation d'empreintes secondaires par méthode conventionnelle.

D'autres limites sont présentes telles que :

- L'expérience requise pour maîtriser les outils numériques
- L'investissement nécessaire pour les équipements spécifiques
- L'absence de méthode numérique directe pour l'enregistrement intermaxillaire
- Le coût et le gaspillage liés à l'usinage des disques en résine, pour les maquettes et prothèses d'usage

À l'heure actuelle il est possible de surmonter ces limites en associant les méthodes conventionnelles et numériques. Cependant, il n'y a pas de consensus à ce sujet-là et un manque d'études et de recul clinique au long terme. Les prothèses amovibles complètes réalisées par la méthode numérique à ce jour, relèvent de l'expérimentation et la méthode de confection doit encore être améliorée sur de nombreux points.

De nombreuses perspectives d'évolutions existent, et devraient permettre au long terme, de confectionner les PAC uniquement via outils numériques, avec une grande reproductibilité. Le développement de ces outils doit essentiellement se porter sur :

- La réalisation de scans sur tissus mous et arcades édentées
- L'enregistrement direct de la relation intermaxillaire
- Le développement des scans faciaux pour améliorer la prédictibilité et éviter l'étape d'essayage, à l'origine de frais et de temps au fauteuil supplémentaires, mais aussi pour la réalisation de PAC immédiates, pour lesquelles la prévisualisation numérique représente un outil essentiel
- L'évolution du prototypage rapide (impression 3D) afin d'éviter le gaspillage de résine lors de l'usinage

La méthode numérique est une méthode d'avenir car elle permet une réduction importante du temps passé au fauteuil, du nombre de rendez-vous, et améliore grandement le confort du patient lors des séances. Par ailleurs dans les différents travaux en cours, les patients présentent une satisfaction équivalente voire supérieure à celle obtenue avec la méthode conventionnelle. Il est donc essentiel de continuer à développer afin de permettre aux praticiens et laboratoires de ne pas délaisser ces prothèses, qui sont encore bien souvent indiquées dans les différentes situations cliniques rencontrées.

Pour répondre aux interrogations initiales sur la thématique abordée, les prothèses amovibles complètes ne peuvent pas encore être réalisées entièrement par méthode numérique mais cela devrait être possible dans les années à venir, grâce aux diverses études en cours. Cependant, de nombreux travaux et un recul clinique au long terme sont encore nécessaires afin de permettre aux laboratoires et cabinets dentaires d'investir dans ces outils numériques.

Références bibliographiques

1. Schwindling FS, Stober T. A comparison of two digital techniques for the fabrication of complete removable dental prostheses: A pilot clinical study. *J Prosthet Dent.* 2016;116(5):756-63.
2. Kalberer N, Mehl A, Schimmel M, Müller F, Srinivasan M. CAD-CAM milled versus rapidly prototyped (3D-printed) complete dentures: An in vitro evaluation of trueness. *J Prosthet Dent.* 2019;121(4):637-43.
3. Benchikh S. Traitement numérique d'une empreinte en prothèse amovible complète par l'utilisation d'un cone beam [Thèse d'exercice]. [Lille] : Université de Lille ; 2020
4. Millet C, Bonnet G. L'usinage des bases prothétiques en prothèse amovible complète. *Réal Clin.* 28(1):64-71
5. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res* 2016;60(2):72-84.
6. Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E, Finger I. Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent.* 2014;111(5):351-5.
7. AlHelal A, AlRumaih HS, Kattadiyil MT, Baba NZ, Goodacre CJ. Comparison of retention between maxillary milled and conventional denture bases: A clinical study. *J Prosthet Dent.* 2017;117(2):233-8.
8. Kattadiyil MT, AlHelal A. An update on computer-engineered complete dentures: A systematic review on clinical outcomes. *J Prosthet Dent.* 2017;117(4):478-85.
9. Kattadiyil MT, Jekki R, Goodacre CJ, Baba NZ. Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. *J Prosthet Dent.* 2015;114(6):818-25.
10. Srinivasan M, Schimmel M, Naharro M, O' Neill C, McKenna G, Müller F. CAD/CAM milled removable complete dentures: time and cost estimation study. *J Dent.* 2019;80:75-9.
11. Steinmassl P-A, Klaunzer F, Steinmassl O, Dumfahrt H, Grunert I. Evaluation of Currently Available CAD/CAM Denture Systems. *Int J Prosthodont* 2017;30(2):116-22.
12. Wimmer T, Gallus K, Eichberger M, Stawarczyk B. Complete denture fabrication supported by CAD/CAM. *J Prosthet Dent.* 2016;115(5):541-6.

13. Lo Russo L, Salamini A. Single-arch digital removable complete denture: A workflow that starts from the intraoral scan. *J Prosthet Dent.* 2018;120(1):20-4.
14. Lo Russo L, Salamini A, Troiano G, Guida L. Digital dentures: A protocol based on intraoral scans. *J Prosthet Dent.* 2020;37: 526-533
15. Chebib N, Kalberer N, Srinivasan M, Maniewicz S, Perneger T, Müller F. Edentulous jaw impression techniques: An in vivo comparison of trueness. *J Prosthet Dent.* 2019;121(4):623-30.
16. Lo Russo L, Caradonna G, Troiano G, Salamini A, Guida L, Ciavarella D. Three-dimensional differences between intraoral scans and conventional impressions of edentulous jaws: A clinical study. *J Prosthet Dent* 2020;123(2):264-8.
17. Lo Russo L, Caradonna G, Salamini A, Guida L. A single procedure for the registration of maxillo-mandibular relationships and alignment of intraoral scans of edentulous maxillary and mandibular arches. *J Prosthodont Res* 2020;64(1):55-9.
18. Lo Russo L, Di Gioia C, Salamini A, Guida L. Integrating intraoral, perioral, and facial scans into the design of digital dentures. *J Prosthet Dent* 2020;123(4):584-8.
19. Hassan B, Greven M, Wismeijer D. Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation. *J Adv Prosthodont.* 2017;9(5):381-6.
20. Lo Russo L, Ciavarella D, Salamini A, Guida L. Alignment of intraoral scans and registration of maxillo-mandibular relationships for the edentulous maxillary arch. *J Prosthet Dent.* 2019;121(5):737-40.
21. Lo Russo L, Salamini A. Removable complete digital dentures: A workflow that integrates open technologies. *J Prosthet Dent* 2018;119(5):727-32.
22. Bonnet G, Batisse C, Bessadet M, Nicolas E, Veyrune J-L. A new digital denture procedure: a first practitioners appraisal. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):155-7.
23. Baba NZ. Materials and Processes for CAD/CAM Complete Denture Fabrication. *Curr Oral Health Rep.* 2016;3(3):203-8.
24. Schweiger J. Systematics and concepts for the digital production of complete dentures: risks and opportunities Systematik und Konzepte zur digitalen Herstellung von Totalprothesen – Chancen und Risiken. *Int J Comput Dent* 2018;21(1):41-56

25. Patzelt SBM, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. *J Am Dent Assoc.* 2013;144(8):914-20.
26. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):149.
27. Unkovskiy A, Wahl E, Zander AT, Huettig F, Spintzyk S. Intraoral scanning to fabricate complete dentures with functional borders: a proof-of-concept case report. *BMC Oral Health.* 2019;19(1):46.
28. Fang Y, Fang J-H, Jeong S-M, Choi B-H. A Technique for Digital Impression and Bite Registration for a Single Edentulous Arch. *J Prosthodont.* 2019;28(2):519-23.
29. Yilmaz B, Azak AN, Alp G, Ekşi H. Use of CAD-CAM technology for the fabrication of complete dentures: An alternative technique. *J Prosthet Dent.* 2017;118(2):140-3.
30. Peng L, Chen L, Harris BT, Bhandari B, Morton D, Lin W-S. Accuracy and reproducibility of virtual edentulous casts created by laboratory impression scan protocols. *J Prosthet Dent.* 2018;120(3):389-95.
31. Goodacre CJ, Garbacea A, Naylor WP, Daher T, Marchack CB, Lowry J. CAD/CAM fabricated complete dentures: concepts and clinical methods of obtaining required morphological data. *J Prosthet Dent.* 2012;107(1):34-46.
32. Lee J-J, Kim D-H, Noh K. A technique for transferring the contours of a functional impression to the polished surfaces of digitally fabricated removable complete dentures. *J Prosthet Dent.* 2019;124(2):153-156
33. Chen H, Yang X, Chen L, Wang Y, Sun Y. Application of FDM three-dimensional printing technology in the digital manufacture of custom edentulous mandible trays. *Sci Rep.* 2016;6(1):900-4.
34. Kanazawa M, Iwaki M, Arakida T, Minakuchi S. Digital impression and jaw relation record for the fabrication of CAD/CAM custom tray. *J Prosthodont Res.* 2018;62(4):509-13.
35. Schweiger J, Güth J-F, Edelhoff D, Stumbaum J. Virtual evaluation for CAD-CAM-fabricated complete dentures. *J Prosthet Dent.* 2017;117(1):28-33.
36. Janeva N, Kovacevska G, Janev E. Complete Dentures Fabricated with CAD/CAM Technology and a Traditional Clinical Recording Method. *Open Access Maced J Med Sci.* 2017;5(6):785-9.

37. Alqarni H, AlHelal A, Kattadiyil MT. Computer-engineered complete denture fabrication with conventional clinical steps: A technique to overcome protocol limitations. *J Prosthet Dent.* 2019;122(5):430-4.
38. Millet C, Virard F, Dougnac-Galant T, Ducret M. CAD-CAM immediate to definitive complete denture transition: A digital dental technique. *J Prosthet Dent.* 2020;124(6):642-646
39. Yu X, Cheng X, Dai N, Chen H, Yu C, Sun Y. Study on digital teeth selection and virtual teeth arrangement for complete denture. *Comput Methods Programs Biomed.* 2018;155:53-60.
40. Yoon S-N, Oh KC, Lee SJ, Han J-S, Yoon H-I. Tissue surface adaptation of CAD-CAM maxillary and mandibular complete denture bases manufactured by digital light processing: A clinical study. *J Prosthet Dent.* 2020;124(6):682-689
41. Bilgin MS, Erdem A, Aglarci OS, Dilber E. Fabricating Complete Dentures with CAD/CAM and RP Technologies. *J Prosthodont.* 2015;24(7):576-9.
42. Turrell AJW. Clinical assessment of vertical dimension. *J Prosthet Dent.* 2006;96(2):5.
43. AlHelal A, Goodacre BJ, Kattadiyil MT, Swamidass R. Errors associated with digital preview of computer-engineered complete dentures and guidelines for reducing them: A technique article. *J Prosthet Dent.* 2018;119(1):17-25.

Table des illustrations

Figure n°1 : Étapes cliniques et de laboratoire nécessaires à la réalisation d'une prothèse amovible complète [3].....	16
Figure n°2 : Schéma récapitulatif des avantages du numérique en prothèse amovible complète (schéma personnel)	20
Figure n°3 : Rétracteur intra-oral pour l'impression de l'arcade maxillaire [28]	22
Figure n°4 : Rétracteur intra-oral positionné sur l'arcade maxillaire [28]	22
Figure n°5 : Arcade maxillaire numérisée après scan intra-oral [28]	22
Figure n°6 : Caméra optique 3Shape de Trios®.....	23
Figure n°7 : Modèles maxillaire et mandibulaires numérisés, traités puis exportés vers le système d'exploitation dédié [29]	23
Figure n°8 : Modèle«brut» d'une empreinte après importation dans le logiciel dédié (vue de $\frac{3}{4}$ à gauche et vue latérale à droite) [3]	24
Figure n°9 : Rendu final de l'empreinte après conversion de l'empreinte détournée en surface positive dans le logiciel dédié [3]	24
Figure n°10 : Corrélation entre le modèle secondaire imprimé en 3D issu du traitement numérique et le modèle secondaire en plâtre [3].....	25
Figure n°11 : Empreinte maxillaire physique réalisée par méthode conventionnelle [31]..	26
Figure n°12 : Numérisation de l'empreinte physique au scanner [32]	26
Figure n°13 : Modèles conçus par CFAO et PEI fabriqués à partir de ceux-ci [33]	27
Figure n°14 : Numérisation des modèles maxillaire et mandibulaire et FAO des PEI [34]	28
Figure n°15 : Empreintes secondaires des arcades maxillaire et mandibulaire par méthode conventionnelle [34].....	28
Figure n°16 : Conception des PEI via logiciel de CAO (3Shape de Trios®) [1].....	29
Figure n°17 : Conception des bases d'occlusion assistée par ordinateur [35]	30
Figure n°18 : Bases d'occlusions réalisées par FAO [35].....	30
Figure n°19: Jig interposé entre les arcades [34]	31
Figure n°20 : Numérisation des arcades maxillaire et mandibulaire avec estimation de la DVO [34].....	31
Figure n°21 : PEI conçus via logiciel de CAO [34].....	31
Figure n°22 : Enregistrement de la relation inter-maxillaire par méthode conventionnelle : Bases d'occlusion (A), et montage sur articulateur (B) [12].....	32
Figure n°23 : Montage virtuel des modèles en plâtre après superposition des différents scans [12]	33
Figure n°24 : UTS CAD (Wieland® Digital Denture) [22].....	34
Figure n°25 : Centric Tray (Wieland® Digital Denture) [22]	34
Figure n°26 : Numérisation des modèles avec positionnement sur l'articulateur virtuel [22]	35
Figure n°27 : PEI maxillaire et mandibulaire [22].....	35
Figure n°28 : Gnathometer® [22].....	36
Figure n°29 : Gnathometer® positionné sur le PEI après empreinte secondaire conventionnelle [22]	36
Figure n°30 : Empreintes physiques avec enregistrement relation inter-maxillaire [22] ...	37
Figure n°31 : Modèles maxillaire et mandibulaire positionnés dans un scanner [22]	37

Figure n°32 : AMD mandibulaire et maxillaire [6].....	38
Figure n°33 : Réalisation de l’empreinte par méthode conventionnelle, avec AMD [6]	38
Figure n°34 : Règle Avadent® [6]	39
Figure n°35 : Ajustage de la DV en modifiant la hauteur du palier maxillaire [6]	39
Figure n°36 : Injection de matériau d’empreinte entre les plateaux pour enregistrer la relation inter-maxillaire [6].....	40
Figure n°37 : Guide esthétique collé au composite sur l’AMD maxillaire [6]	40
Figure n°38 : guide esthétique positionné sur l’AMD maxillaire [6].....	41
Figure n°39 : Arcades maxillaire et mandibulaire avec résorption extrême (A) et AMD rendant l’enregistrement de la RIM impossible (B) [37]	41
Figure n°40 : Panoramique d’un patient présentant une résorption extrême des arcades maxillaire et mandibulaire [37]	42
Figure n°41 : Empreintes réalisées par méthode conventionnelle avec la prothèse existante, puis scan de celles-ci, individuellement et en occlusion [38].....	43
Figure n°42 : numérisation des arcades et de la relation inter-maxillaire [38]	43
Figure n°43 : Numérisation des données obtenus par scans faciaux [18].....	45
Figure n°44 : Superposition des différents scans faciaux [18]	46
Figure n°45 : Prévisualisation du patient avec ses prothèses (A) et situation clinique du patient avec celles-ci (B) [18].....	47
Figure n°46 : Scanner facial pritidenta (site du fabricant).....	47
Figure n°47 : 3 scans du patient réalisés avec scanner Priditenta [35]	48
Figure n°48 : Superposition des scans faciaux et des bases d’occlusion scannées en laboratoire [35]	49
Figure n°49 : Positionnement numérique des arcades après superposition des scans [12]	50
Figure n°50 : Montage de dents via logiciel de CAO [12]	51
Figure n°51 : Prévisualisation du patient avec le montage de dents virtuel [35]	53
Figure n°52 : Maquettes d’essayage en résine polyméthacrylate [22]	54
Figure n°53 : Bloc de résine PMMA après usinage [22]	55
Figure n°54 : Maquettes d’essayage en bouche [22]	55
Figure n°55 : Maquettes d’essayage avec bourrelets en cire au niveau postérieur [24] ...	56
Figure n°56 : Maquettes d’essayage avec fine couche de cire sur l’extrados [1]	56
Figure n°57 : Prothèse amovible complète réalisée par usinage [22]	57
Figure n°58 : Collage des dents artificielles dans les alvéoles conçues par CAO [24].....	57
Figure n°59 : Clef de repositionnement conçue automatiquement par CAO pour permettre le bon positionnement des dents artificielles [4]	58
Figure n°60 : Comparaison de la rétention entre les prothèses usinées et celles réalisées par méthodes conventionnelles [7]	58
Figure n°61 : Prothèses amovibles complètes réalisées par CFAO [35]	59
Figure n°62 : Comparaison de la prévisualisation sur logiciel de CAO et du résultat final [35]	59
Figure n°63 : Dents artificielles conçues par CAO [41].....	61
Figure n°64 : Bloc de dents usiné à gauche et imprimé en 3D à droite [41].....	61
Figure n°65 : Vue quadrillée en millimètres sur le logiciel de CAO [43].....	65

Table des tableaux

Tableau n°1 : Avantages du montage de dents via conception assistée par ordinateur.....	51
Tableau n°2 : Les 5 principaux systèmes de conception numérique de prothèses amovibles complètes par rapport à la méthode traditionnelle.....	67
Tableau n°3 : Outils numériques disponibles en PAC pour le chirurgien-dentiste.....	68
Tableau n°4 : Outils numériques disponibles pour le prothésiste selon l'étape de laboratoire	69

Thèse d'exercice : Chir. Dent. : Lille : Année [2021] – N°:

Outils numériques disponibles pour la confection de prothèses amovibles complètes / **MERCIER Auguste**.- p. 79 : ill. 65 ; réf. 43.

Domaines : Prothèses

Mots clés Rameau: Prothèses dentaires complètes; Empreintes dentaires; CFAO

Mots clés FMeSH: Prothèses dentaires complètes; Conception assistée par ordinateur

Mots clés libres: Prothèse amovible complète; Numérique

Résumé de la thèse :

Ce travail propose d'étudier la question suivante : est-il possible d'envisager à l'heure actuelle la réalisation des prothèses amovibles complètes uniquement par outils numériques ?

En effet, les outils numériques ont connu une évolution importante en prothèse fixée ces dernières années. Cependant, la prothèse amovible a été délaissée et les outils numériques se retrouvent bien moins utilisés dans ce domaine à l'heure actuelle. Malgré cela, de nombreux outils numériques existent et sont exploitables en prothèse amovible, notamment en prothèse complète.

Différents cas reportés à travers ce travail montreront l'apport des outils numériques pour chaque étape clinique mais aussi de laboratoire lors de la confection de prothèses amovibles complètes. Même si ces outils numériques sont encore perfectibles et nécessitent des améliorations dans certains domaines, on peut d'ores et déjà réaliser des prothèses amovibles complètes grâce à ceux-ci.

Ce travail présentera les principaux systèmes numériques disponibles et efficaces pour la confection des prothèses amovibles complètes.

JURY :

Président : Monsieur le Professeur BEHIN

Asseseurs :

- **Monsieur le Docteur DELCAMBRE**
- **Monsieur le Docteur MAYER**
- **Monsieur le Docteur BENCHIKH**