

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB – BLIDA 1



No

FACULTÉ DE MÉDECINE DE BLIDA  
DÉPARTEMENT DE MÉDECINE DENTAIRE

Mémoire de fin d'étude  
Pour l'obtention du  
TITRE DE DOCTEUR EN MÉDECINE DENTAIRE  
INTITULÉ

Thème  
La C.F.A.O en prothèse

Présenté et soutenu publiquement le :

13/07/2016

Par

Mr. BOUCHAKOUR Sid Ahmed

Mr. MOSTEFAI Zakaria

Mr. HOUTI Amine

Et

Mr. REGUIEG Djaber

Promoteur : Dr. MOKHTARI

Jury composé de :

Président : Dr. MESMOUS

Examineur : Dr. NASRI

Année universitaire : 2015-2016

# Remerciements

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre gratitude et nos remerciements pour toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dr. MOKHTARI qui nous a fait l'honneur d'être notre encadreur pour son aide, ses conseils, son encouragement, nos gratitude et nos profonds remerciements s'orientent aussi vers Dr. MESMOUS et Dr. NASRI membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

*Nous remercions également Pr. BOUKAIS chef service et Dr. ZEGGAR chef de département et à tous nos enseignants et aussi qu'aux personnels de la clinique Zabana .*

*Nous tenons à remercier chaleureusement, nos familles et tous nos amis et nos proches et tous ceux qui, de près ou de loin.*

# Sommaire

<b>I – Introduction</b> .....	p.1
<b>II – Historique</b> .....	p.2
<b>III – Définition</b> .....	p.3
<b>IV- Principes</b> .....	p.4
<b>V - Avantages et inconvénients</b> .....	p.4
V.1 - Les avantages .....	p.4
V.2 - Les inconvénients .....	p.6
<b>VI - Les différentes méthodes de CFAO</b> .....	p.7
VI.1 - CFAO directe .....	p.7
VI.2 - CFAO semi-directe .....	p.8
VI.3 - CFAO indirecte .....	p.8
<b>VII - Les étapes de la chaîne numérique</b> .....	p.9
VII.1- Acquisition des données numériques .....	p.10
VII.1.1 - Principes d'acquisition numérique d'empreinte .....	p.10
VII.1.2 - Prise d'empreinte .....	p.10
VII.1.2 .1- Empreinte par contact ponctuel .....	p.10
VII.1.2 .2 - Empreinte par lecteur optique .....	p.11
VII.1.2 .2.1 - Empreinte par méthode directe .....	p.13
VII.1.2 .2.2 - L'empreinte par méthode indirecte .....	p.14
VII.1.2 .2.2.1 - Numérisation de modèles .....	p.14
VII.1.2 .2.2.2 - Numérisation des empreintes chimio-manuelle .....	p.15
VII.1.2 .2.2.3 - Numérisation de maquettes .....	p.16
VII.1.2 .2.2.4 - Numérisation d'une radiographie .....	p.16
VII.1.3 - Les principaux systèmes .....	p.17
VII.1.3.1 - CEREC .....	p.17
VII.1.3.2 - iTero .....	p.19
VII.1.3.3 - Le Lava Chair side Oral Scanner (Lava C.O.S.) .....	p.20
VII.1.3.4 - Trios .....	p.20
VII.1.3.5 - E4D .....	p.21
VII.1.3.6 - Direct Scan .....	p.21

VII.1.3.7 - Cyrtina .....	p.22
VII.1.3.8 - IOS FastScan .....	p.23
<b>VII.1.4 – l'enregistrement d'occlusion en CAO</b> .....	<b>p.23</b>
VII.1.4.1 - Enregistrement du mordu .....	p.23
VII.1.4.2 - Technique FGP .....	p.25
VII.1.4.3 – Par voie vestibulaire .....	p.25
VII.2 - Conception assisté par ordinateur (CAO) .....	p.27
VII.2.1 – Phase de traitement des données .....	p.27
VII.2.2 - Phase de modélisation ou conception .....	p.27
VII.3 – Fabrication assistée par ordinateur (FAO) .....	p.29
VII.3.1 - Fabrication par soustraction .....	p.30
VII.3.2 - Fabrication par addition .....	p.32
VII.3.3.1 - Impressions 3D .....	p.32
VII.3.3.1.1 - Procédé par injection de cire .....	p.33
VII.3.3.1.2 - Procédé par injection de résine et polymérisation par ultraviolets .....	p.34
VII.3.3.2 - La stéréolithographie .....	p.35
VII.3.3.3 - La Microfusion (ou Frittage Laser).....	p.35
<b>VIII - Ajustements finaux</b> .....	<b>p.36</b>
VIII.1- Essayage esthétique, contrôle de l'occlusion et de l'adaptation marginale .....	p.36
VIII.2 - Maquillage et polissage mécanique ou glaçage .....	p.37
<b>IX - Les matériaux en CFAO</b> .....	<b>p.39</b>
IX.1 - Les propriétés mécaniques des biomatériaux dentaires .....	p.40
IX.2 - Propriétés physiques des matériaux .....	p.41
IX.3 - Les alliages métalliques .....	p.42
IX.3.1 - Les alliages précieux .....	p.42
IX.3.2 - Le titane .....	p.42
IX.3.2.1 - Propriétés du titane .....	p.42
IX.3.3 - Le Cr-Co .....	p.43
IX.4 - Les céramiques .....	p.45
IX.4.1 – Historique .....	p.45
IX.4.2 - Définition .....	p.45

IX.4.3 - Classification des céramiques dentaires .....	p.46
IX.4.4 - Propriétés mécaniques .....	p.47
<del>IX.4.5</del> - Propriétés physiques .....	p.48
IX.4.6 - Les différents types de céramiques .....	p.48
IX.4.6.1 - Les céramiques feldspathiques .....	p.48
IX.4.6.2 - Les vitrocéramiques .....	p.48
IX.4.6.3 - Les céramiques infiltrées .....	p.49
IX.4.6.3.1 - In-Ceramspinell.....	p.50
IX.4.6.3.3 - In-Ceramzirconia .....	p.50
IX.4.6.4 - Les céramiques polycristallines .....	p.51
IX.4.6.4.1 L'alumine pure .....	p.51
IX.4.6.4.2 - La zircone pure : ZrSiO <sub>4</sub> .....	p.51
IX.4.6.4.2.1 - La zircone TZP .....	p.51
IX.4.6.4.2.2 - La zircone HIP .....	p.52
IX.5 - Les résines .....	p.53
<b>X - Les indications de la CFAO .....</b>	<b>p.55</b>
X.1 - En prothèse .....	p.55
X.1.1 - La prothèse conjointe .....	p.55
X.1.1.1 - Inlay onlay .....	p.55
X.1.1.2 - Les facettes .....	p.57
X.1.1.3 - Couronnes .....	p.57
X.1.1.4 - Les Bridges .....	p.58
X.1.2 - La prothèse adjointe .....	p.59
X.1.1.1 - La prothèse adjointe partielle .....	p.59
X.1.1.2 - La prothèse adjointe totale .....	p.60
X.2 - En implantologie .....	p.62
X.2.1 - La chirurgie assistée par ordinateur .....	p.62
X.2.2 - Pilier implantaire .....	p.64
X.3 - En ODF .....	p.64
X.3.1- Dispositif orthodontique lingual réalisé par CFAO .....	p.65
X.3.2 - Plusieurs systèmes d'orthodontie impliquant la CFAO .....	p.66
X.3.2.1 - Le système Orthocad .....	p.66
X.3.2.2 - Le système Invisalign®.....	p.66

**X.3.2.3 - Le système Incognito®..... p.67**

**X.4 - En occlusodontie (un simulateur occlusal virtuel) ..... p.68**

**XI – Conclusion ..... p.70**

**Références bibliographiques**

**Annexes**

## I - Introduction :

Pendant plus d'un siècle, le métier de chirurgien-dentiste est resté figé dans une ancienne technologie prothétique suivant le schéma : prise d'empreinte/ modèle en plâtre / modèle de cire/coulée.

Les matériaux à empreinte traditionnels sont, aujourd'hui, nettement supérieurs à ceux des générations précédentes. Néanmoins, ils peuvent être sujets à des variations dimensionnelles et la technique reste généralement désagréable pour le patient. D'autre part, la coulée du modèle en plâtre peut, elle aussi, être une source d'imprécision.

De nouveaux dispositifs améliorés sont proposés à un rythme accéléré et bouleversent aujourd'hui notre exercice.

Depuis plusieurs années, la technologie numérique révolutionne l'art dentaire. On retrouve le numérique dans toutes les disciplines : radiologie, endodontie, prothèse, implantologie.

L'apparition de l'empreinte optique fait partie intégrante de cette révolution. Dans les années 70, en France, les travaux du Pr François Duret ont abouti à une nouvelle philosophie : la CFAO qui est venue bousculer la profession en proposant un processus prothétique s'appuyant sur une technologie numérique.

Cette conception d'objets virtuels numériques sur des écrans informatiques occupe désormais une place prépondérante au sein de l'industrie au 21<sup>ème</sup> siècle. Les évolutions sont quasi quotidiennes, l'avènement de la prise d'empreinte optique permet donc au praticien et au technicien de laboratoire la réalisation d'une production en masse à des coûts qui peuvent être minimisés et d'utiliser des méthodes de travail reproductibles et précises tout en étant plus agréable pour le patient.

Nous étudierons des notions générales de CFAO et leur indication et différents systèmes de CFAO dentaires, et les phases d'acquisition des données de conception assistée par ordinateur et d'usinage à travers quelques systèmes de CFAO modernes en vue de la réalisation de pièces prothétiques leur fabrication et enfin les divers matériaux utilisés.

## II – Historique :

L'histoire de la CFAO s'est déroulée en se nourrissant des sciences existantes et de l'imagination de ses créateurs. A cette période, l'informatique est naissante, l'optique subit un grand intérêt et l'usinage automatique fait son apparition dans les usines automobiles et d'aviation. Chaque élément apparaît et se développe dans des secteurs différents mais parallèles sans jamais se rencontrer.

La première approche est faite dans les années 50 par des chercheurs américains et anglais qui essaient de « mathématiser » l'analyse de la position spatiale des points de référence à la surface des dents. Les dentistes eux se rapprochent de chercheurs travaillant sur la géométrie des surfaces et des volumes (3D). L'avance dans le domaine orthodontique concernant les études céphalométriques fait que les premiers travaux utilisés par la CFAO apparaissent dans des publications de Burston ou Craig, des chercheurs de renom en ODF.

La deuxième approche s'est faite au début des années 60 avec l'essor de « l'holographie » et du « laser ».

La dentisterie s'est appuyée sur ces approches pour utiliser ces technologies de pointe dans la pratique des cabinets dentaires et des laboratoires de prothèse afin de les substituer aux méthodes traditionnelles en dentisterie restauratrice. La thèse du Docteur Duret voit le jour à la fin de cette période au cours de laquelle sont décrites toutes les techniques aujourd'hui utilisées en CFAO. (1)

En 1973, François DURET fut le concepteur et l'inventeur de la CFAO dentaire en proposant d'extrapoler ce concept à la réalisation de pièces prothétiques dentaires.

Il posa les bases de ce qui est aujourd'hui la CFAO dentaire dans sa thèse.

« L'empreinte optique ». Ce travail, fruit de deux ans de recherches, décrit toutes les techniques aujourd'hui utilisées en CFAO : l'utilisation d'une lecture optique 3D, d'un ordinateur et d'un centre d'usinage. L'équipe de chercheurs français constituée par François DURET présenta ses travaux pour la première fois aux Entretiens de Garancière en 1983. (2)

C'est en 1984 qu'il développe et dépose le brevet du premier système de CFAO. Ce dernier était présenté au congrès « the Chicago Mid-winter Meeting » en 1989 et était capable de fabriquer une couronne en 4H. (3)

D'autres équipes ont cherché à développer la CFAO, tant aux Etats-Unis qu'au Japon, mais ce sont finalement les travaux Européens qui ont fait aboutir la CFAO dentaire.

A partir de 1985, il n'était plus nécessaire de démontrer la faisabilité de cette technologie, mais de prouver son efficacité et son intérêt pour la profession.

En 1987, l'association du Dr MÖRMANN (Suisse) et de Mr BRANDESTINI a permis la mise au point du Cerec 1® (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics).

Ce système permettait de faire une empreinte en bouche et d'usiner des inlays en quelques minutes. Il fait aujourd'hui partie de la firme Sirona Dental System™ et en 1988 : réalisation du premier bridge.

En 1994 : mise au point la deuxième génération du Cerec®

Le Procéra® a vu le jour en 1987 grâce au Dr ANDERSON (Suédois). Il s'agit d'un système manufacturant de couronnes dentaires de haute précision.

Biocare™ commercialisa le Procera®AllCeram en 1993.

En 1992 entrée fracassante de la CFAO en implantologie et s'est terminée autour de l'année 2000. Elle a été caractérisée par la domination des grands groupes industriels et dentaire, aux dépens des petites équipes innovatrices et par une mise progressive sur le marché de machines CFAO, pour cabinet ou pour laboratoire de prothèse. Tout cela est de plus en plus évident surtout si l'on analyse la vitesse avec laquelle la CFAO a évolué et l'importance des choix qu'elle a dû faire durant sa brève existence. C'est dans les années 2000 qu'elle a acquis sa crédibilité chez les praticiens et les prothésistes. (4)

En 2002 : D. Wiechmann développe le système Incognito®, un système CFAO pour la réalisation des attaches sur mesures en orthodontie linguale.

En 2003 : la quatrième génération du Cerec® est proposée, le Cerec® 3D.

En 2004 : apparition des premiers systèmes dentaires ouverts utilisant la communication STL, en 2006 : mise au point du Digistell®, le premier logiciel CAO pour modélisation 3D de châssis métalliques par le prothésiste Français D. Négrel. (5)

En 2007 : développement de la nouvelle version du Digistell® ; le Digistell® V2.

En 2008 : présentation de la première caméra filmant dans la bouche (empreinte dynamique). (4)

### **III - Définition :**

La CFAO ou Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (en anglais CAD-CAM : Computer Assisted Design, Computer Assisted Manufacturing), est née de la rencontre entre les progrès de l'informatique, de l'optique, des matériaux et de la robotisation des machines-outils, La CFAO est utilisée dans tous les services de recherche et de développement de nombreux métiers liés à l'industrie, (automobile, armement, aéronautique, etc.) mais également dans les applications nécessitant une représentation graphique fidèle de ce que l'on envisage de réaliser, comme en architecture. Dans notre profession, la CFAO désigne tous les équipements utilisés dans la chaîne numérique allant de la modélisation La CAO : Conception Assistée par Ordinateur à La FAO : Fabrication assistée par ordinateur .Les étapes de CAO et FAO sont commandées par des logiciels propres à chaque unité et à chaque système.

Outre les logiciels de conception et de fabrication assistées par ordinateur, la CFAO dentaire comprend, en amont, les équipements de numérisation 3D (scanners) et en aval, les équipements de fabrication à commande numérique (6)

La CFAO ne se limite pas à la fabrication de prothèses, elle conçoit et utilise tous les outils numériques applicables sur le modèle scanné pour appliquer les diagnostics médicaux informatisables. C'est une méthode universelle s'appliquant sur un objet réel dont on connaît les caractéristiques physiques utilisé aussi bien dans les domaines d'implantologie, orthodontie... etc. (7)

#### **IV- Principes :**

Se résume en 3 unités :

- Une unité d'acquisition des données numériques Le principe de base est le suivant : utiliser une sonde intra-orale pour enregistrer la surface des dents sous forme de données exploitables par informatique. Ces données sont traitées par un logiciel qui construit une image par modélisation d'une surface. Elle fonctionne comme un remplacement numérique du matériau d'empreinte physique.

L'enregistrement de la surface des dents se fait par une technique optique qui consiste à projeter un point, une ligne, voire une surface plus ou moins complexe sur les formes dentaires et à mesurer la déformation imposée à cette projection. (8)

- Une unité de traitement (logiciel) pour la modélisation de l'image relevée, ainsi que pour la modélisation et la conception du projet thérapeutique virtuel. (CAO)

- Une unité de production (machine-outil) qui va fabriquer la pièce analogique réelle à partir des données issues du traitement du logiciel. (9)

#### **V – Avantages et les inconvénients :**

##### **V.1 – Les avantages :**

- **Avantages pour le dentiste :**
- Facilité d'utilisation et extrême précision dues à l'excellence du système de prise d'empreinte doté d'une caméra, La CFAO permet un usinage très précis des pièces prothétiques et une adaptation parfaite (<6 microns). Elle apporte également une qualité de travail, une précision indispensables à la prothèse implantaire et permet de pérenniser les infrastructures.
- Simplification des opérations, hygiène maximale pas besoin de désinfecter les empreintes.
- La diminution de la durée et du nombre de rendez-vous : de la préparation en bouche à la mise en fonction de la pièce prothétique, la totalité des opérations prend en moyenne une heure à une heure trente. Ce temps est considérablement réduit en fonction de l'expérience de l'opérateur, du cas clinique, de l'unité d'usinage employée et du degré de finition choisi. Le gain de temps grâce à la précision de la CFAO ; moins de retouches à réaliser lors du scellement.

- Le fait de ne pas avoir besoin de prendre l'empreinte complète de l'arcade antagoniste.
- Un autre point qui change grandement la vie d'un cabinet réside dans l'accessibilité. Sur n'importe quel poste du réseau informatique, on peut accéder au modèle du patient, sans perte de temps ni déplacement. Le travail de laboratoire complet est donc accessible, sans poussière, sans destruction, ce qui permet donc de revenir en arrière à tout moment, pour analyser selon d'autres critères.
- image moderne pour le cabinet. (10)

➤ **Avantages pour le patient :**

- Meilleur confort grâce à la suppression de l'empreinte traditionnelle, généralement ressentie comme désagréable la technique est instantanée et sans douleur, ce qui est notamment idéal pour prendre des empreintes sur les enfants et les patients âgés un second intérêt particulièrement intéressant chez les patients présentant un réflexe nauséeux important.
- La CFAO permet de réaliser facilement des restaurations provisoires esthétiques, biocompatibles, avec une adaptation très précise et à un prix compétitif en matériau amélioré en utilisant les mêmes formes et couleurs pour les restaurations provisoires et définitives, le patient est plus satisfait, car le résultat esthétique est alors très prévisible.
- Fidélisation des patients, accueil de nouveaux patients souhaitant bénéficier d'un traitement moderne et de restaurations de qualité supérieure.
- Stockage illimité dans le temps des empreintes numériques permet une pérennisation des informations ou seule la destruction des données informatiques ou numériques pourra agir sur leurs valeurs et existence. (11)

➤ **Avantages pour le prothésiste :**

- Réduction des sources d'erreur : prise d'empreinte intra-orale ultra-précise et transfert de toutes les données du modèle au laboratoire.
- Moins d'ajustements des restaurations ce qui diminue les répétitions et les temps d'insertion.
- Gain de temps dû à la possibilité de consulter directement le dentiste pendant la séance de traitement.
- Optimisation des conditions d'hygiène.
- Diminue aussi la pénibilité du travail du prothésiste : moins de matériaux dangereux à manipuler, moins de matériaux lourds à porter, moins de déplacements et moins de stress.
- La CFAO permet d'économiser l'usage des matériaux par rapport à la technique traditionnelle, c'est aussi un des acteurs de l'élimination progressive du métal dans nos restaurations. (12)

## V.2 - Les inconvénients :

- Le coût d'achat du système, le coût d'investissement et de maintenance des systèmes CFAO freine le développement de ces techniques, notamment chez les jeunes praticiens ou les petits cabinets privés.
- Son coût d'achat élevé est l'une des principales raisons de la lente adoption de la technologie.
- Comme toute technique d'empreinte, seule la connaissance du système, des matériaux et l'apprentissage permettent la réalisation d'empreinte correcte. Afin d'obtenir une empreinte exploitable, il est nécessaire que le praticien connaisse parfaitement la procédure et évite les principales erreurs.
- L'appareil photo (camera) peut être trop grand pour les patients ayant de très petites bouches, Nécessité d'une ouverture buccale suffisante ; Il faut que l'ouverture buccale du patient soit compatible avec la manipulation de la caméra 3D au-dessus des volumes à enregistrer. Parfois, dans les secteurs postérieurs (sur les 7 et les 8), l'empreinte optique est difficile, voire impossible à réaliser. (13)
- La Fragilité, Ces machines-outils utilisent des micro-mécanismes et de l'électronique particulièrement fragiles et sensibles qui peuvent tomber en panne.
- Elles nécessitent des contrats de maintenance particuliers pour éviter le blocage de la chaîne de production, ou de doubler l'appareillage de production, Ces machines-outils doivent être entretenues régulièrement. Leur maintenance nécessaire est onéreuse, les laboratoires n'étant pas formés à ce type de réparation, qui doit être assurée par le fabricant lui-même. Les différents logiciels ont aussi un coût de licence particulièrement élevé, et des mises à jour coûteuses sont indispensables.
- Cette technique nécessite une préparation nette et propre, sans salive ni sang. Un temps supplémentaire est nécessaire pour la préparation des tissus mous.
- La limite de préparation doit être clairement visible et sèche sur tout le pourtour pour être reconnue par le système d'enregistrement optique. Pour l'instant, les zones de contre-dépouille ainsi que les préparations profondes sont plus faciles à reproduire par les empreintes conventionnelles. Bien que l'application de la poudre augmente le contraste de l'image, son utilisation n'est pas non plus sans problèmes.
- L'agglutination (formation de grumeaux) ou l'application excessive de poudre entraînent des scans inutilisables, qui doivent alors être répétés. Il est donc nécessaire de prévoir un temps suffisant pour la prise d'empreintes par scanner. Il est cependant possible de déléguer le scan à des personnes spécialement formées de l'équipe du cabinet. (9)
- Enregistrement de l'occlusion en statique uniquement et non en dynamique : jusqu'à récemment, aucun système traitant les empreintes optiques intra-orales, ne présentait de fonction permettant de gérer la dynamique occlusale du patient au cabinet dentaire. (13)

## **VI - Les différentes méthodes de CFAO :**

### **VI.1 - CFAO directe :**

Toutes ces étapes se font au sein du cabinet dentaire et, dans l'idéal, lors d'une seule séance clinique simple dans leur utilisation, rapides, peu encombrantes, économiquement abordables, peu bruyantes, propres, écologiques, etc. La présence du matériel et son utilisation au cours du soin vont participer à la communication avec notre patient.

Depuis les travaux de François Duret nous savons qu'il s'agit de la caméra intra-buccale utilisant un principe optique, donc une émission lumineuse sans contact avec l'élément à enregistrer. La numérisation se fait par le traitement de l'onde lumineuse réfléchie vers la caméra. Un logiciel de CAO permettant la conception de la restauration sur les modèles virtuels issus de l'empreinte optique est hébergé sur l'unité d'acquisition. Cette étape doit être la plus rapide possible. Elle aboutit à la visualisation de la maquette à l'écran, avant lancement de la fabrication. En CFAO directe, seul l'usinage à froid dans une machine-outil à commande numérique est envisageable à ce jour dans un environnement de cabinet dentaire classique.

Le marché de la CFAO directe concerne les praticiens désireux d'exploiter au maximum la précision obtenue par la caméra optique intra-buccale [14], et souhaitant maîtriser l'outil de conception et de production du ou des éléments prothétiques afin de raccourcir la chaîne de réalisation tout en étant acteur décisionnaire des formes et des fonctions de l'élément obtenu. Ce sera donc l'outil particulièrement indiqué pour les reconstitutions partielles de type inlays, onlays, facettes, reconstitution d'angles, etc., et également pour des restaurations totales de type couronnes unitaires, de valeurs reconnues par les autorités de santé. L'évolution du logiciel et des matériaux donne de plus aujourd'hui accès à d'autres indications, telles le pilier ou la couronne transvissés sur implant, le bridge antérieur monobloc. [15]

Résumé des étapes de la CFAO direct :

- 1 -Empreinte optique intra-buccale
- 2- Réalisation d'un modèle virtuel
- 3- CAO
- 4- FAO : usinage à froid et finitions
- 5- Assemblage

## **VI.2 - CFAO semi-directe :**

La CFAO semi-directe est la récupération et la numérisation de l'information directement en bouche à l'aide d'une caméra intra-buccale, le traitement de cette information pour obtenir des modèles virtuels, puis l'envoi par un portail Internet à un laboratoire partenaire pour déléguer la CAO, ainsi que la réalisation physique des éléments. L'on profite alors de l'expertise du professionnel prothésiste dans la conception dentaire, dans la maîtrise des procédés de mise en œuvre pour des matériaux plus sophistiqués. [16]

Résumé des étapes de la CFAO semi-directe :

- 1-Empreinte optique intra-buccale
- 2-Réalisation d'un modèle virtuel
- 3-Envoi au labo via internet
- 4-Fabrication d'un modèle résine par stéréolithographie ou usinage
- 5-CAO
- 6-FAO
- 7-Finitions
- 8-Retour au cabinet pour assemblage

## **VI.3 - CFAO indirecte :**

La dernière possibilité pour un praticien de proposer à son patient un élément issu de cette technologie automatisée est la CFAO indirecte que l'on connaît depuis longtemps, notamment grâce à Nobel Procera le praticien réalise une empreinte classique physico-chimique. La transmet au prothésiste. Le prothésiste, après réception de celle-ci, se charge de la numériser dans un scanner avant d'exploiter la chaîne de CFAO lui-même ou en sous-traitance dans des grands centres d'usinage. L'inconvénient est la perte possible de précision dans la première partie du processus puisque très opérateur-dépendant et soumis aux aléas de malaxage des produits, température, tirage, stockage, transport. [16]

Résumé des étapes de la CFAO indirecte :

- 1-Empreinte classique physico chimique
- 2-Réalisation d'un modèle physique et scannage du modèle ou scannage de l'empreinte
- 3-CAO
- 4-FAO
- 5-Finitions
- 6-Retour au cabinet pour assemblage

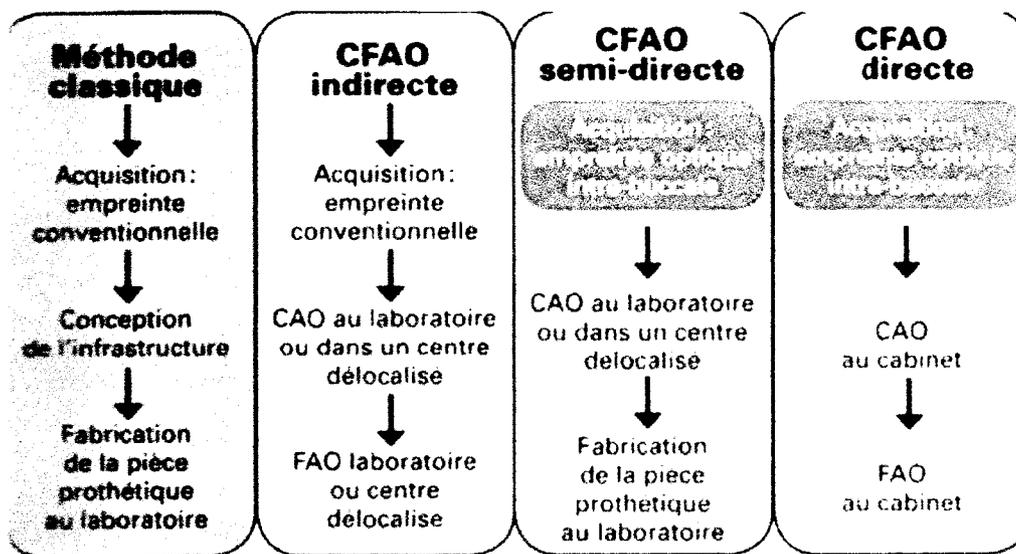


Fig. 1 : comparatif entre les différentes méthodes de CFAO (directe, semi-directe et indirecte) et la méthode classique (16)

### VII - Les étapes de la chaine numérique :

On peut décomposer la CFAO en trois étapes distinctes :

- L'acquisition des données numériques
- La conception assistée par ordinateur
- la fabrication assistée par ordinateur

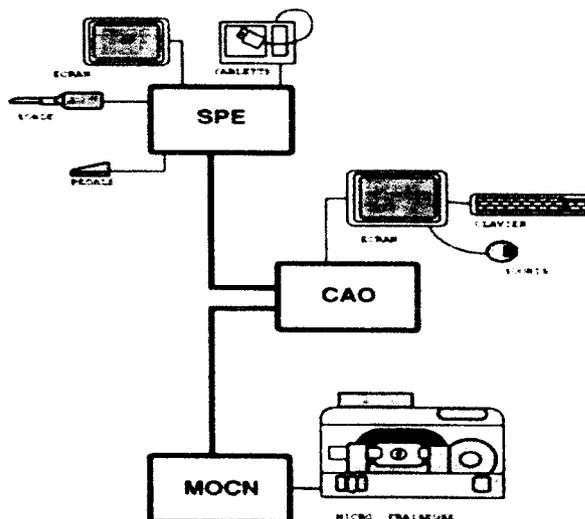


Fig. 2 : principe schématique de la CFAO

- SPE = Système de prise d'empreinte
- CAO = Conception Assistée par Ordinateur
- MOCN = Machine-Outil à Commande Numérique. (17)

## VII.1-Acquisition des données numériques :

### VII.1.1 - Principes d'acquisition numérique d'empreinte :

L'accès dans un système CFAO dentaire implique une acquisition numérique préalable.

Cette acquisition des données peut être effectuée sur différents objets :

- En extrabuccale : sur modèle en plâtre, une maquette en cire ou une empreinte chimio-manuelle.
- En intrabuccale : par une numérisation directe des arcades dentaires incluant la ou les préparations. (18)

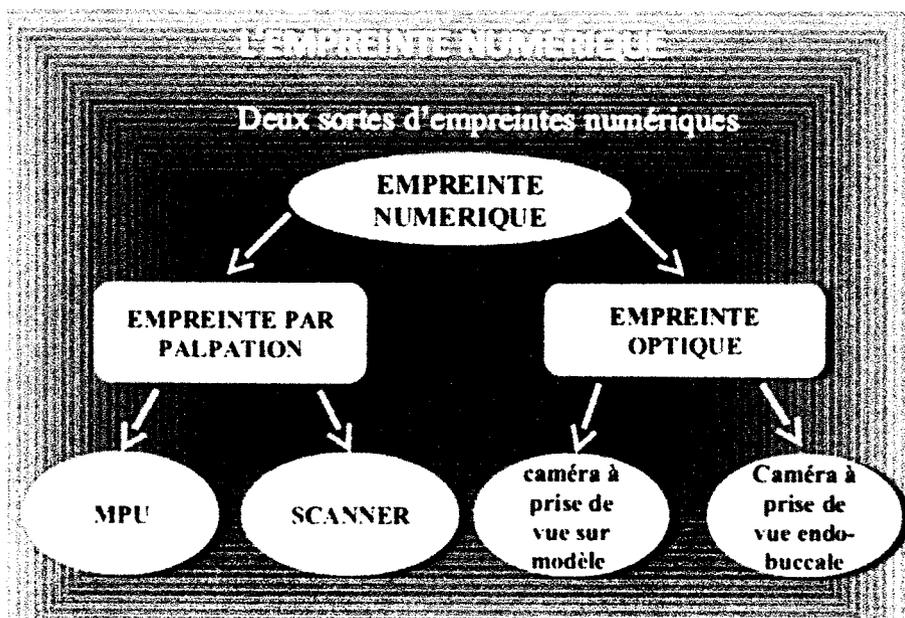


Fig. 3 : Types des empreintes numériques (19)

### VII.1.2 - Prise d'empreinte :

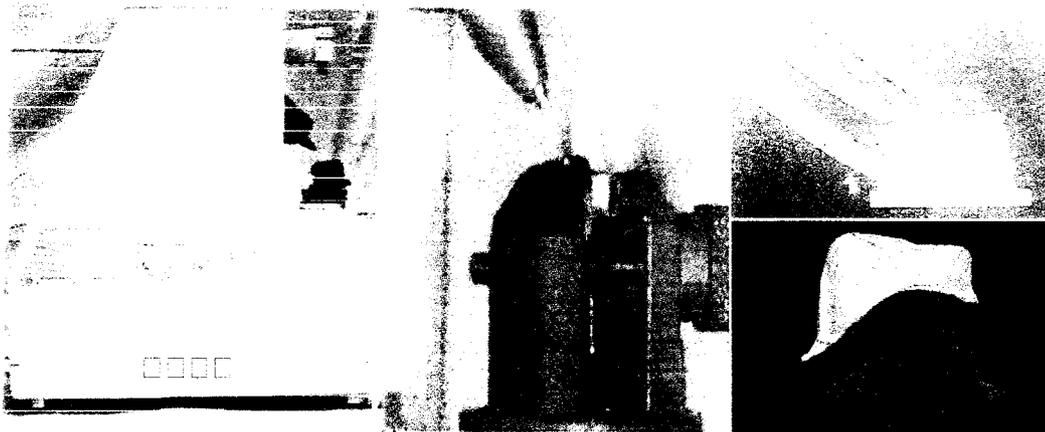
#### VII.1.2 .1- Empreinte par contact ponctuel :

Communément appelée méthode par palpation, le modèle à mesurer est placé sur un plateau théoriquement indéformable. Dans cette méthode, la mesure se fait à l'aide d'un micropalpeur qui vient toucher et balayer la surface de l'empreinte en envoyant sa position tridimensionnelle à l'ordinateur de pilotage et d'enregistrement. Classiquement, on distingue deux variantes :

- la lecture dite universelle, où le balayage de la surface s'effectue de façon automatique, c'est-à-dire sans intervention directe de l'opérateur, si ce n'est pour repositionner le modèle en respectant l'axe du balayage du palpeur.

- la lecture dite à la volée, dont le principe consiste à manipuler un bras articulé venant toucher l'objet à mesurer.

Dans les deux cas, les informations sont digitales, ce qui signifie que la connaissance des points sur la surface de l'empreinte est directement amenée à l'ordinateur en valeur numérique correspondant à la position en x,y,z de la pointe du palpeur par rapport à la position de référence. Cette méthode de recueil des données est utilisée dans le système Procera®. (20)



**Fig. 4 : Scanner Procera® (20)**

Cette méthode de micro palpage est progressivement abandonné vu ses limites détaillées dans les points suivants :

-La vitesse d'acquisition ne dépasse pas 10 points par minute à la volée et une centaine en mode automatique.

-Ils ne peuvent pas mesurer les détails dont la dimension est inférieure au rayon de la bille. Cette caractéristique explique souvent les consignes de préparation données aux opérateurs, en particulier au niveau de l'épaulement et de la surface occlusale. Il est pratiquement impossible d'enregistrer un épaulement. Celui-ci est modélisé comme un chanfrein.

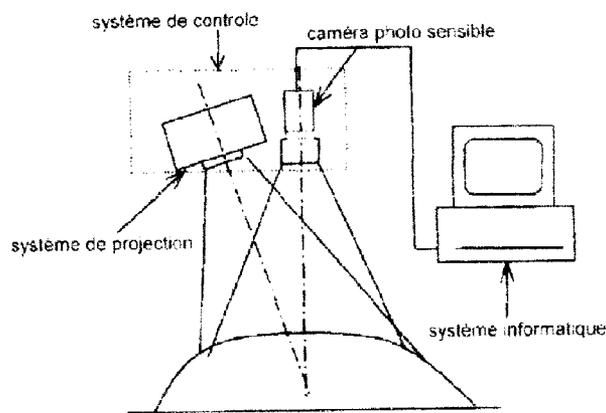
-Il est nécessaire d'utiliser des matériaux résistants. La fragilité de la cire dentaire ou la souplesse de la pâte d'empreinte rendent imprécises les mesures.

-Il est difficile de savoir, dans des lectures à la volée, si tous les points ont été saisis.

#### **VII.1.2 .2 - Empreinte par lecteur optique :**

Appelée couramment empreinte optique, Le principe général de cette méthode consiste à projeter un point, une ligne, voire une surface (rayon lumineux) plus ou moins complexe sur les formes dentaires et à mesurer la déformation imposée à cette projection.

- Pour mettre en œuvre cette technologie, les moyens suivants sont utilisés :
- Des émetteurs de lumière incohérents ou cohérents (laser) ou des émetteurs d'onde (ultrasons, etc.)
  - Des capteurs ou récepteurs spécifiques ayant pour fonction de retrouver et de mettre sous forme de valeur utilisable la perturbation.
  - Des convertisseurs permettant de décrypter la perturbation analogique transmise par le capteur et de la convertir en valeur numérique.
  - Des filtres et algorithmes de traitement de l'image ayant pour fonction de formater les valeurs numériques dans un système compréhensible par les systèmes CAO. (21)



**Fig. 5** : Diagramme schématique des méthodes optiques. (21)

Les systèmes de CFAO les plus courants utilisent uniquement le système de scannage optique. Seule la durée de ce scannage diffère selon la technique :

L'évolution des logiciels permet à quasiment tous les systèmes de CFAO d'utiliser cette dernière méthode, dont la vitesse de capture et de traitement de l'image se produit en une vitesse extraordinaire : 20 captures 3D par seconde, sachant qu'il faut environ 2400 captures 3D pour une arcade entière. Les images s'affichent en temps réel, ce qui permet de contrôler immédiatement la qualité de la préparation et de l'empreinte optique obtenue.

Ces quelques dernières années de recherches ont permis au rêve de devenir réalité et ainsi d'aborder le sujet de l'empreinte directe en bouche qui est aujourd'hui un mode d'enregistrement courant. Cette méthode est un gain de temps avéré et un certain confort pour le patient. Les bénéfices intéressants permettent son développement plus rapide. (22)

### VII.1.2 .2.1 - Empreinte par méthode directe :

L'empreinte traditionnelle reste une étape délicate quelque soit le matériau utilisé. Les laboratoires sont confrontés régulièrement à des empreintes de qualité insuffisante avec, pour exemples, des problèmes de tirage, de déformation de la zone inter-proximale ou de décollement du matériau.

On respecte les normes de mise en forme d'une préparation pour prothèse fixée. Elle doit être en rapport avec les capacités d'usinage de la machine-outil choisie. Des différences d'épaisseur sont remarquées compte tenu de la résistance mécanique du matériau. La préparation doit aussi être en corrélation avec le système utilisé.

L'enregistrement de la préparation se fait ainsi le plus souvent à l'aide d'une caméra intra-buccale, c'est ce que l'on nomme « empreinte numérique directe » ou « empreinte optique ».

Néanmoins un traitement préalable des surfaces dentaires et péri-dentaires est nécessaire avant l'enregistrement.

Pour cela on doit sécher très légèrement la zone d'enregistrement et limiter toute production de fluides gingivaux de type sanguin ou salivaire. Des hémostatiques sont utilisés si besoin et des méthodes d'isolation salivaire comme un rouleau de coton peuvent y être intégrées.

Le poudrage avec du dioxyde de titane en spray sur les zones à enregistrer peut ainsi être réalisé dans de bonnes conditions. Pour cela la dispersion de la poudre doit être la plus homogène possible, sans excès de quantité qui risque de nuire à la netteté et à la précision des images. En cas de manque de poudre, le rayon incident n'est pas réfléchi correctement et on note des défauts d'enregistrement (23)



Fig. 6 : Poudrage de l'arcade dentaire par la poudre de  $TiO_2$  (96)

Aujourd'hui les nouvelles caméras ne nécessitent pas de poudrage des préparations.

La caméra intra-buccale est ainsi insérée puis centrée au niveau de la préparation. Celle-ci est déclenchée le plus fréquemment par une pédale située en bas de la console. Il y a alors émission de rayonnements qui sont envoyés puis reflétés sur la préparation dentaire. La caméra les reçoit et transforme les rayons reçus en image qui apparaît sur l'écran de l'ordinateur. Le rayonnement projeté est analysé avec un point de vue décalé par rapport au rayonnement incident. Un déclenchement automatique est présent sur certaines nouvelles caméras

La tête de la caméra ne devant pas toucher la dent, le support de la caméra est soit calé entre la dent préparée et sa dent adjacente, soit posé sur cette dernière uniquement.

L'enregistrement de l'arcade antagoniste et de l'occlusion doit être fait avec la même rigueur et la même précision que précédemment.

Pour l'occlusion, le patient est en position de fermeture buccale en occlusion de référence et la caméra est placée en vestibulaire des dents concernées.

La CFAO directe, au fauteuil, en une seule séance, avec l'empreinte optique, est indiquée surtout pour l'inlay, l'onlay, la facette ou une couronne unitaire

Il est possible d'enregistrer optiquement l'ensemble de l'arcade dentaire et de transmettre électroniquement les images au technicien de laboratoire. La fabrication de la prothèse se fait au laboratoire ou dans un centre d'usinage à distance. (23)

#### **VII.1.2 .2.2 - L'empreinte par méthode indirecte :**

En cas de réalisation prothétique plus importante, la CFAO indirecte s'impose. Comme vu précédemment, « l'enregistrement indirect » lui, concerne le fait que l'empreinte est prise par méthode conventionnelle avec de la pâte à empreinte au cabinet dentaire.

Cette méthode d'empreinte est surtout employée dans les cas complexes où l'enregistrement direct est trop difficile à mettre en place. De même que lorsque le matériau, que l'on souhaite utiliser pour la restauration, n'est disponible que sur une machine utilisant le système d'empreinte indirecte uniquement. Dans ces cas l'occlusion est prise grâce à un mordu en silicone secondairement scanné. (24)

Il existe plusieurs types :

##### **VII.1.2 .2.2.1 - Numérisation de modèles :**

Constituer un modèle numérique se fait aussi bien depuis une paire de moulages que directement à partir des empreintes.

La numérisation 3D des modèles en plâtre est la pratique la plus courante. Le modèle peut être converti en image virtuelle par un scanner 3D. Ce procédé éprouvé est le point d'entrée dans le processus numérique de conception et fabrication

assistées par ordinateur des prothèses dentaires Les scanners 3D dédiés à la production de prothèses dentaires fixes et/ou mobiles offrent un niveau de précision similaire, de l'ordre de 20 µm.

Tous ne se prêtent pas aisément à la numérisation des matériaux réfléchissant.

Les principales différences entre les scanners résident dans la possibilité de numériser simultanément plusieurs éléments unitaires pour des prothèses distinctes (fonction multi-dies), et le champ d'applications : numérisation d'arcades complètes, d'antagonistes, de mordus, de préparations en plâtre avec implants, enregistrement des occlusions.

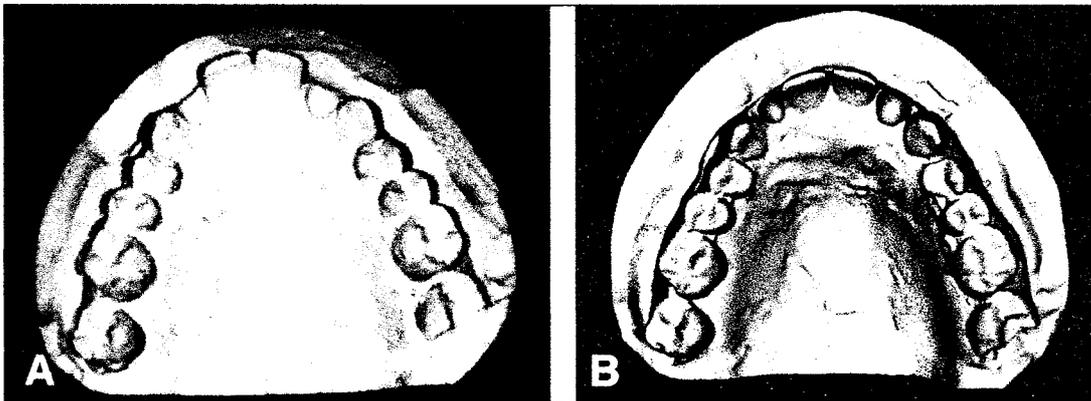


Fig. 7 : Modèle en plâtre obtenu par technique traditionnelle(A) converti en modèle numérique (25)

#### VII.1.2 .2.2.2 - Numérisation des empreintes chimio-manuelle :

Les fabricants de systèmes de capture des modèles font évoluer leurs scanners vers la numérisation des empreintes.

Le chirurgien-dentiste a désormais la possibilité de numériser l'empreinte et d'adresser sa version numérique par internet au prothésiste, qui peut ainsi démarrer au plus tôt la conception de la prothèse. Ou bien, il peut envoyer directement l'empreinte traditionnelle au laboratoire qui effectuera l'opération complète de la numérisation à la fabrication de la prothèse.

Les avantages de cette technique :

- Réduire le besoin d'un modèle de travail au minimum.
- Accroître la productivité au laboratoire.
- Seule la numérisation de l'empreinte physique peut permettre la réalisation d'un inlay-core via CFAO dentaire.

### **VII.1.2 .2.2.3 - Numérisation de maquettes :**

Le scan direct d'empreintes en modèles 3D est rendu possible par la combinaison d'un laser et de deux caméras placées à angle réduit. Il permet de transmettre les maquettes au directeur de commande numérique de la machine.

C'est le même principe que le pantographe, mais l'automatisation du palpeur mécanisé et de la machine outils remplace l'homme pour répliquer la maquette en cire dans le matériau souhaité.

Elle représente réellement une opportunité unique d'optimisation de l'archivage et de la planification de traitement, en éliminant totalement le modèle en plâtre, permettant ainsi d'éviter d'avoir un processus long, coûteux et poussiéreux.

Il est important de noter que la qualité de numérisation est intimement liée à la qualité de l'empreinte physique.

C'est aussi un moyen utilisé pour communiquer, via internet, la copie numérique d'une maquette en cire à un centre de production distant. Elle s'avère surtout nécessaire pour pallier aux champs d'applications encore restreints des logiciels de CAO.

C'est par exemple le cas pour la réalisation de certains composants de supra-structures sur implants : leur modélisation en 3D n'étant pas encore possible avec les logiciels de CAO, le prothésiste n'a pas d'autre choix que de réaliser des maquettes physiques puis de les numériser s'il veut les fabriquer ou les faire fabriquer via un procédé numérique, par usinage ou par fabrication additive.

### **VII.1.2 .2.2.4 - Numérisation d'une radiographie :**

Les praticiens en chirurgie dentaire et chirurgie maxillo-faciale recourent de plus en plus à des logiciels de chirurgie assistée par ordinateur pour la planification de l'intervention chirurgicale et la simulation de la pose des implants et des couronnes.

A partir de l'imagerie au format DICOM 3D (Digital Imaging and Communication in Medicine) obtenue par tomographie ou par Conversion d'un IRM, le logiciel construit un modèle 3D du maxillaire ou de la mandibule du patient.

Les modélisations 3D sont générées par triangulation ; on obtient donc des fichiers au format 3D STL (STereoLithographie). Ces fichiers 3D sont déjà utilisés pour la fabrication par procédé additif de guides chirurgicaux, ou de copies physiques du maxillaire et de la mandibule pour résoudre les cas complexes.

Il devient donc possible d'anticiper la réalisation de la prothèse dentaire temporaire, voire définitive, au travers d'échanges STL entre les chirurgiens-dentistes et les prothésistes dentaires.

Par ailleurs, des recherches universitaires, dans le domaine de l'orthodontie, ont démontré qu'il est possible de simuler numériquement des mouvements mandibulaires ainsi que des déplacements des deux arcades de manière à optimiser les contacts occlusaux.

Le couplage de la numérisation 3D intra-buccale avec la reconstruction 3D de l'anatomie occlusale à partir de l'imagerie médicale laisse entrevoir la possibilité de concevoir et valider des restaurations prothétiques dans un environnement totalement virtuel, sans aucun moulage. (25)

### VII.1.3 - Les principaux systèmes :

Plusieurs techniques sont aujourd'hui utilisées pour la détection optique du volume ils y'a ceux qui nécessitent le poudrage comme la triangulation active utilisé par les caméras endo buccales Cerec 3® et CerecBluecam® et la technique d'imagerie parallèle confocale (Système iTero) et la technique de la mesure de profondeur par utilisation des propriétés de la défocalisation par la caméra endobuccale COS® (3M ESPE®) et ceux qui le nécessitent pas comme la technique du moiré utilisé par la caméra endobuccale E4D®

Le marché de la CAO/FAO est aujourd'hui en pleine expansion. Le système CEREC (Sirona) précurseur et leader sur le marché est actuellement rejoint par d'autres sociétés présentant des solutions comparables, parfois innovantes.

#### VII.1.3.1 - CEREC :

Le système CEREC est proposé par la société Sirona, il comprend une caméra de prise d'empreintes optiques, une unité CAO/FAO et une unité d'usinage.

Sirona propose aujourd'hui 3 caméras de prise d'empreinte optique : la célèbre CerecBluecam, il est impératif de procéder au poudrage de la préparation avant le début de l'empreinte, la caméra émet une lumière bleue d'une longueur d'onde de 470 nanomètres, qui permet de prendre une série de clichés. Le logiciel les regroupe ensuite de manière à former un modèle virtuel en trois dimensions. La caméra détecte automatiquement le meilleur moment pour déclencher la prise de vue. Un détecteur de mouvement intégré permet la prise de cliché uniquement lorsque l'image est stable.



Fig. 8 : Caméra Cerec Bluecam (97)

En Août 2012, Sirona a sorti une nouvelle camera de prise d'empreinte : L'omnicam, plus fine que la Blue Cam. L'omnicam ne nécessite plus de poudrage préalable de la préparation.

Ici le mode de prise de vue est différent : Ce ne sont plus des clichés qui sont réalisés mais un film, le modèle 3D se construit au fur et à mesure sur l'écran, de plus l'empreinte optique qui apparait sur l'écran est en couleur, ceci permet de plus facilement percevoir la distinction entre les dents, les gencives et les matériaux de prothèse.



Fig. 9 : Cerec Omnicam (97)

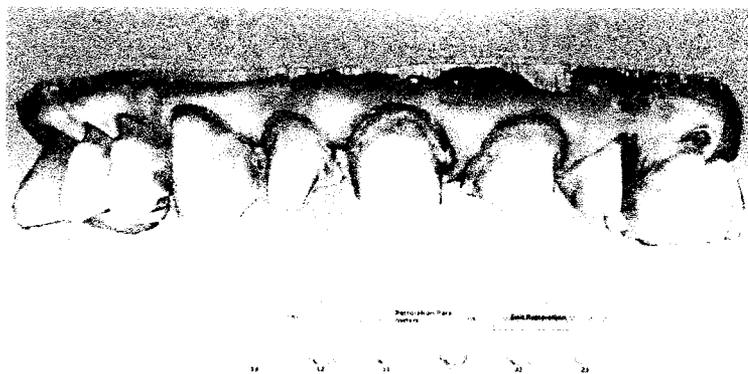


Fig. 10 : Empreinte couleur par l'Omnicam (97)

En Mars 2013 lors de l'IDS à Cologne, Sirona a lancé une nouvelle caméra d'empreinte optique : la petite caméra Apollo DI, elle est destinée à la prise d'empreinte optique par le chirurgien dentiste puis envoyée directement au prothésiste sous un format ouvert (STL), permettant d'être compatible avec n'importe quel laboratoire ou centre d'usinage. La prise d'empreinte nécessite un léger poudrage (26)

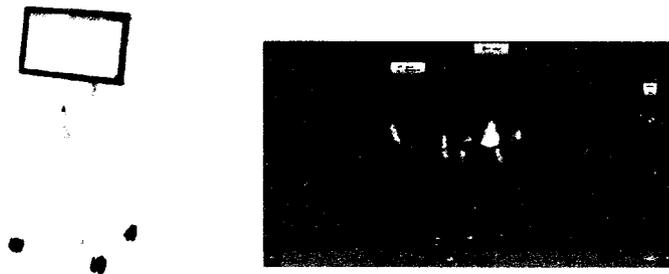


Fig. 11: Apollo DI (97)

#### VII.1.3.2 - iTero:

Le système iTero est lancé aux Etats-Unis en 2007 par la société Cadent. Ce n'est que trois ans plus tard, en 2010, que le système est lancé en Europe en partenariat commercial avec la société Straumann (leader mondial en chirurgie dentaire implantaire et restauratrice). Ne nécessite pas le poudrage pour la prise d'empreinte (27)

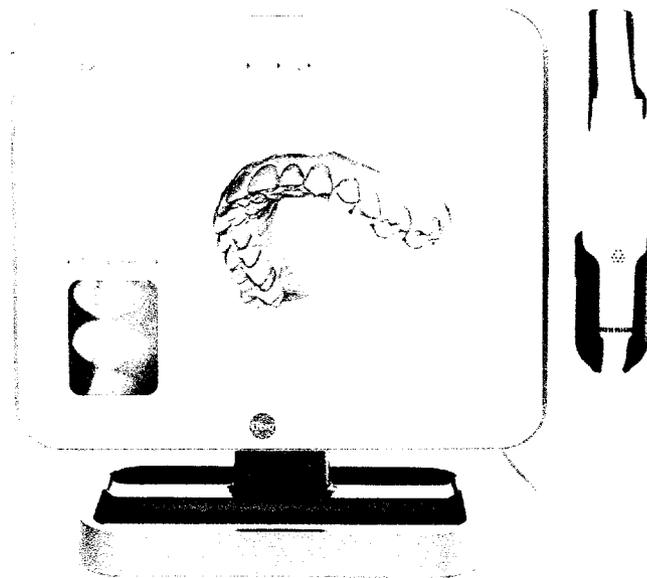


Fig. 12 : System iTero® (98)

### VII.1.3.3 - Le Lava Chair side Oral Scanner (Lava™ C.O.S.) :

Comme les autres systèmes il est composé d'une caméra et d'un kart composé d'un écran tactile.

La caméra Lava est la plus petite du marché (13 mm à son extrémité), Comme pour la CEREC Bluecam, le poudrage de la préparation est nécessaire avant le début de la prise d'empreinte numérique.

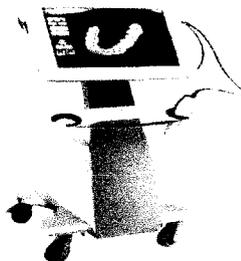


Fig. 13 : Système Lava™ C.O.S. (99)

### VII.1.3.4 - Trios :

La caméra Trios développée par 3Shape. Ce dernier est un leader réputé dans le secteur de la numérisation 3D et des logiciels de CFAO pour applications dentaires. Le design de cette caméra est fondamentalement différent des caméras précédentes. La caméra se tient comme un pistolet, lui permettant une stabilité accrue. La tête de la caméra est réversible pour faciliter la numérisation des mâchoires supérieure et inférieure, et peut être stérilisée en autoclave.

Acquisition de l'image Comme pour la caméra iTero la prise d'empreinte ne nécessite pas de poudrage préalable de la préparation.

L'acquisition de l'image se fait comme un film, en maintenant un faible écart entre la caméra et la dent. (28)



Fig. 14 : Caméra Trios (100)



**Fig. 15** : Empreinte couleur avec Trios (28)

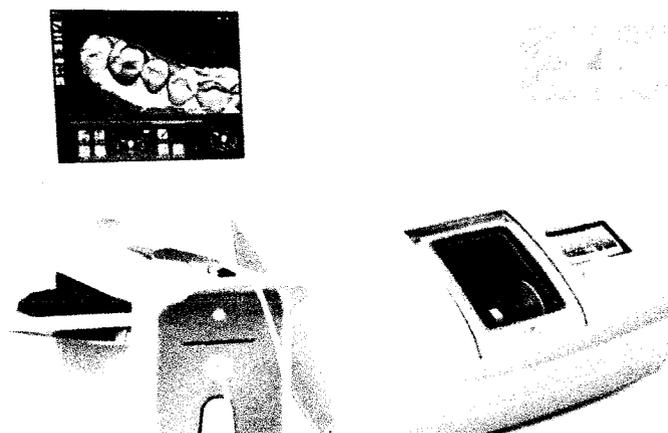
**Autre systèmes :**

**VII.1.3.5 - E4D :**

Système fabriqué par la société Texane D4D, composé d'une unité de prise d'empreinte optique ainsi que d'une unité d'usinage, à l'image du système CEREC.

La caméra est compacte et mesure 25 cm de long, la tête de la caméra possède un embout stabilisateur permettant le calage sur les surfaces dentaires lors de la prise d'empreinte.

Cette caméra ne nécessite pas de poudrage préalable de la préparation, le système utilisé est une technologie laser. La précision obtenue par la caméra est de l'ordre de 20 à 30  $\mu\text{m}$ .



**Fig. 16** : E4D système (101)

**VII.1.3.6 - Direct Scan :**

Le système d'acquisition est basé sur la projection linéaire avec capteurs, le poudrage de la préparation n'est pas nécessaire et l'acquisition se fait par prise de vue fixe.

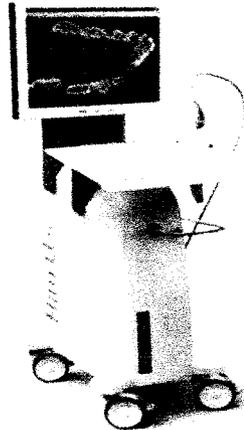


Fig. 17 : Système Direct Scan (102)

#### VII.1.3.7 - Cyrtina® :

La caméra Cyrtina®, fait partie de la gamme des caméras indépendantes. Elle se branche directement à un ordinateur à l'aide d'une connexion USB.

Cette caméra utilise la technologie confocale avec détection de l'effet de moiré, elle ne nécessite pas l'application de poudre et est compatible avec la plupart des dispositifs CAO/FAO.

Les fichiers sont au format STL, ouvert avec tous les dispositifs de CAO/FAO. Les prises de vue nécessaires à la réalisation de l'empreinte sont les mêmes que les systèmes précédents.

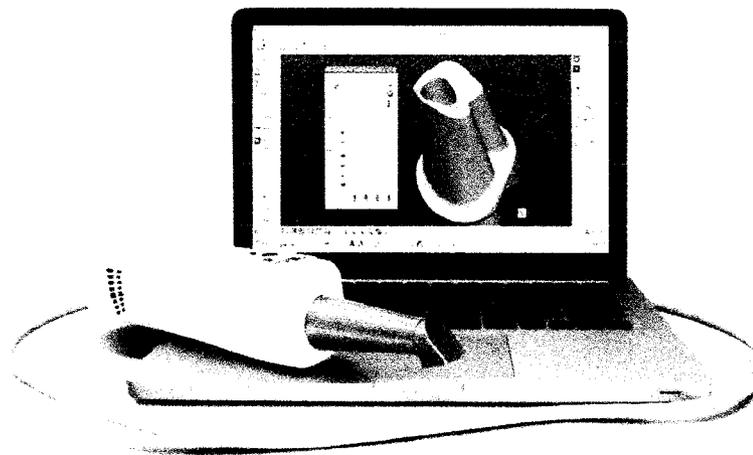


Fig. 18 : Système Cyrtina® (103)

#### VII.1.3.8 - IOS FastScan :

Ce système commercialisé par la société IOS Technologies est commercialisé aux USA depuis 2010, il comprend une caméra et un système de CAO

Ce système nécessite un poudrage préalable de la préparation.

La zone de scan de la caméra est de 40 mm (surface de 4 à 5 dents) ce qui lui permet d'enregistrer la zone sans avoir à déplacer la caméra, cependant cette longue zone de scan rend la caméra encombrante.

Les fichiers enregistrés par le logiciel sont au format universel STL, permettant d'être compatible avec n'importe quel laboratoire ou centre d'usinage.

Il est aussi possible de scanner les modèles en plâtre ainsi que les empreintes conventionnelles. (29)



Fig. 19 : Système IOS FastScan (104)

#### VII.1.4 - l'enregistrement d'occlusion en CAO :

Il existe différents moyens d'enregistrer la relation intermaxillaire par CAO. Nous présenterons ici ces moyens. Il est cependant important de savoir que chaque système n'offre pas toutes ces possibilités.

Cette étape intervient après que le praticien ait enregistré deux empreintes virtuelles : la/les préparation(s) puis ses antagonistes.

##### VII.1.4.1 – Enregistrement du mordu :

L'enregistrement de la (des) dent(s) préparée(s), dans un premier temps, puis de leurs antagonistes ont été réalisées.

Le praticien applique une silicone ou une cire d'occlusion optolabile sur la/les préparation(s). Il s'agit généralement d'une silicone à prise rapide sur laquelle le patient est amené à fermer en OIM et à garder cette position le temps de prise du matériau. Le patient doit donc venir rapidement en occlusion avant que le matériau ne commence à prendre en créant une résistance sur le chemin de fermeture et des risques d'erreur. Le praticien devra contrôler que l'occlusion enregistrée est la bonne.

En effet les patients ont tendance à partir légèrement en latéralité pour venir « mordre » la silicone. Une fois la prise réalisée le praticien analyse le mordu, vérifie que le patient retrouve bien la même occlusion. La dureté finale du matériau étant élevée, le praticien peut le couper sans risque de le déchirer afin de bien l'adapter. Le mordu est retravaillé si nécessaire à l'aide d'une lame, la surface de silicone indentée doit se limiter à la surface occlusale de la/ des dent(s) préparée(s) sans déborder sur les dents adjacentes.

Après les différents réglages et vérifications, le mordu est remis en place, bien sec, puis poudré (si le système le nécessite) afin d'enregistrer les indentations à l'aide de la caméra optique.

Le logiciel analyse alors les différentes données : l'empreinte des préparations, l'empreinte des antagonistes et enfin l'empreinte du mordu. Il va ainsi pouvoir superposer ces empreintes grâce aux zones identiques, telles que les dents adjacentes, les cuspidés des antagonistes et les indentations. Pour cela, il est important que les empreintes soient prises dans le même axe et qu'elles aient suffisamment de points communs. (30)

Le logiciel est alors capable de recréer l'anatomie de la dent à reconstituer. On veillera tout de même à ce que le mordu n'empiète pas sur les dents adjacentes qui vont servir de repères entre la première et la seconde empreinte.

En 2011, FAGES indiquait que cette technique permettait également l'enregistrement en RC. (30)

Toutefois, les indications actuelles de la CAO restent limitées et ne permettent pas encore de réhabiliter nos patients de manière globale. Par conséquent, il sera indispensable de réaliser des modèles réels à partir des empreintes numériques puis de monter les modèles sur articulateur. Les différents progrès effectués dans ce sens sont prometteurs, mais la CAO ne répond pas encore à nos attentes face à des reconstitutions de grande étendue.



**Fig. 20 :** Photographie de la préparation, sur modèle en plâtre et Préparation avec mordu en silicone sur modèle en plâtre (105)

#### **VII.1.4.2 - Technique FGP :**

Il est possible d'enregistrer une occlusion dynamique dans le style du FGP. Le CEREC® à partir de la version 2.4 en mode de réglage « occlusion », permet l'enregistrement des trajets en latéralité.

Le praticien enregistre l'occlusion par la technique du mordu. Dans un second temps, du silicone opto-lisible est déposé entre les arcades et le patient réalise différents mouvements de latéralité, de propulsion et rétrusion. Une nouvelle empreinte est alors réalisée. Cette technique, difficile à réaliser et peu fiable, n'a pas été reconduite dans les nouveaux systèmes CEREC®. (30)

#### **VII.1.4.3 - Par voie vestibulaire :**

Cette technique est désormais réalisable avec le CEREC® version 3,8. Dans un premier temps, l'opérateur enregistre la/les préparation(s), puis les antagonistes. Ensuite, le praticien guide le patient en OIM, la caméra optique est alors insérée dans le vestibule pour venir enregistrer les faces vestibulaires en occlusion. Cette méthode a pour inconvénient de devoir mettre en place la caméra dans le vestibule avec une distance par rapport aux dents convenable pour l'enregistrement. Cela peut s'avérer difficile dans le fond de la cavité buccale ou face à une joue tonique. Le système Lava C.O.S met en avant une caméra de petite taille : 13,2 mm à son extrémité permettant de mieux appréhender ce problème.

L'opérateur superpose alors les trois clichés et le logiciel affine parfaitement cette superposition. (32)

Lorsque le logiciel retrouve l'occlusion, le praticien peut observer sur l'écran les points d'occlusion virtuels. Pour s'assurer de la qualité de l'enregistrement ; le praticien peut contrôler ces points en bouche à l'aide d'un papier articulé. La cohérence entre les points d'occlusion réels et virtuels garantit que la RIM enregistrée est correcte. (32)

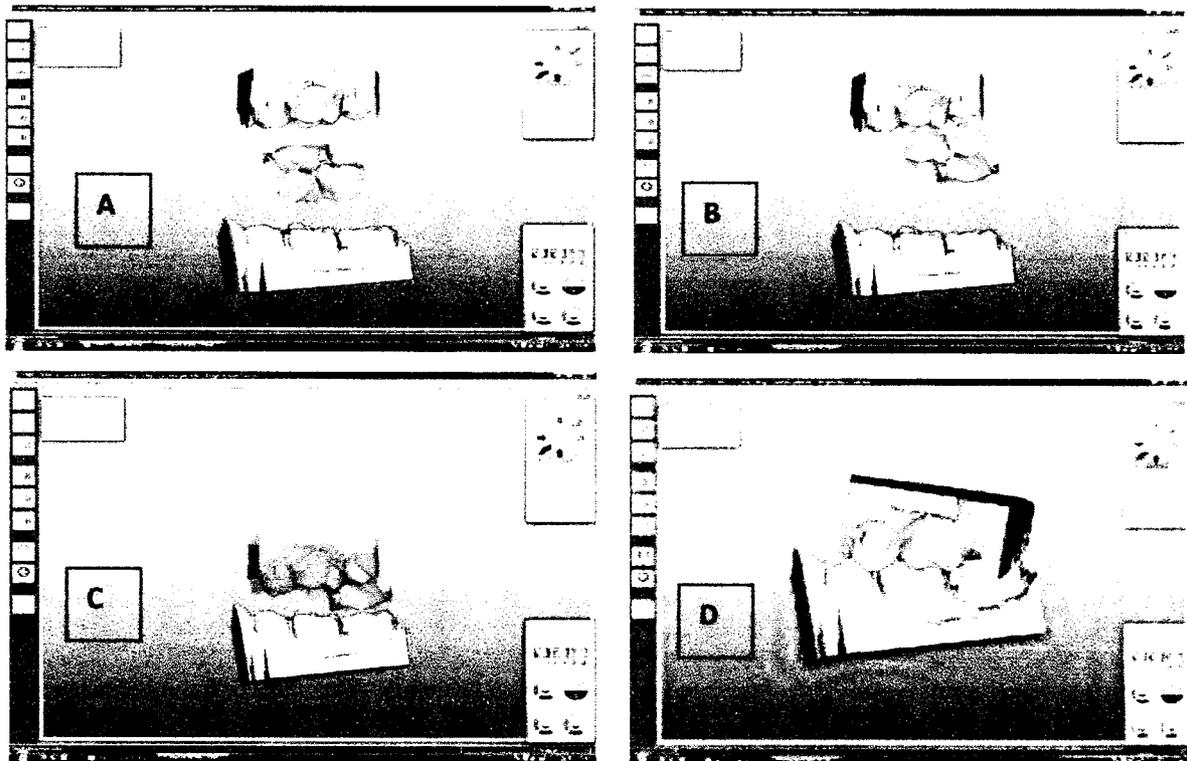


Fig. 21 : (A) Observations des trois clichés, (B) L'opérateur superpose le cliché en OIM à l'une des deux arcades, (C) L'opérateur superpose les clichés, (D) Le logiciel affine la superposition. (105)



Fig. 22 : Observation des points d'occlusion virtuels. (105)

## **VII.2 - Conception assisté par ordinateur (CAO) :**

Il s'agit ici de l'étape de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) proprement dite.

L'ordinateur à travers un logiciel de conception, une fois les éléments numériques de la prise d'empreinte optique récupérée, va élaborer un modèle de travail numérique. Le modèle virtuel établi peut tourner dans toutes les directions. Il peut ainsi être traité par le chirurgien-dentiste, ou par le prothésiste qui est alors nommé «info-prothésiste».

Elle peut se subdiviser en deux phases :

- Une phase de traitement des données.
- Une phase de modélisation.

### **VII.2.1 - Phase de traitement des données :**

La phase de saisie des informations génère un flot trop important de données. Un logiciel doit donc réduire ces données pour pouvoir être traitées par un ordinateur sans pour autant nuire à la qualité de l'information enregistrée.

L'ensemble de données de l'acquisition génère un ensemble de points.

L'ensemble des points sont reliés pour constituer un modèle en trois dimensions par triangulation.

Ce modèle 3D est un ensemble de polygones qui différencie l'intérieur du modèle de l'extérieur par une orientation différente de ces polygones.

L'ensemble peut alors être transféré vers un logiciel de modélisation 3D sous le nom de format de fichier STL pour concevoir la prothèse. (33)

### **VII.2.2 – Phase de modélisation ou conception :**

Il apparaît sur l'écran un modèle de travail numérique virtuel en trois dimensions. Ce modèle peut être vu sous tous les angles et toutes les tailles. Il peut être retravaillé (détouré, corrigé, etc....) et l'opérateur va élaborer la future prothèse.

Les logiciels de CAO disposent de préformes qui vont être testées puis adaptées au modèle positif unitaire (M.P.U) en fonction de la correspondance entre les préformes existantes et les caractéristiques des autres dents du patient. La prothèse se positionne sur le modèle puis s'adapte à la limite cervicale de la préparation prédéfinie par l'opérateur.

L'opérateur peut intervenir sur toutes les caractéristiques générales de la prothèse : sur l'épaisseur occlusale, cervicale, etc., sur les limites cervicales, sur l'espacement entre la prothèse et le modèle de travail (place laissée aux ciments ou colles), etc....

Il peut intervenir également sur des endroits précis de la prothèse avec des

outils de lissage, soustraction, addition, de bascule de la prothèse, de position, de forme, etc....

L'opérateur peut alors à partir de la prothèse proposée par le logiciel de CAO, complètement la redessiner et la modifier en fonction de ses envies, de sa connaissance de la bouche du patient, des caractéristiques propres à la bouche du patient, etc.... (34)

Cette opération peut être plus ou moins rapide en fonction de la connaissance du logiciel, de l'expérience de l'opérateur, et de la prothèse à réaliser.

En effet, cette opération peut être chronophage pour le chirurgien-dentiste qui préfère déléguer cette opération au laboratoire, ou alors il ne possède pas de système de C.F.A.O. au cabinet, et c'est le laboratoire qui réalise l'ensemble de la prothèse par C.F.A.O.



**Fig. 23** : la définition de la limite cervicale



**Fig. 24** : La couronne proposée par le logiciel et leur placement selon les points repère de l'occlusion et la limite cervical qui ce fait automatiquement par le logiciel

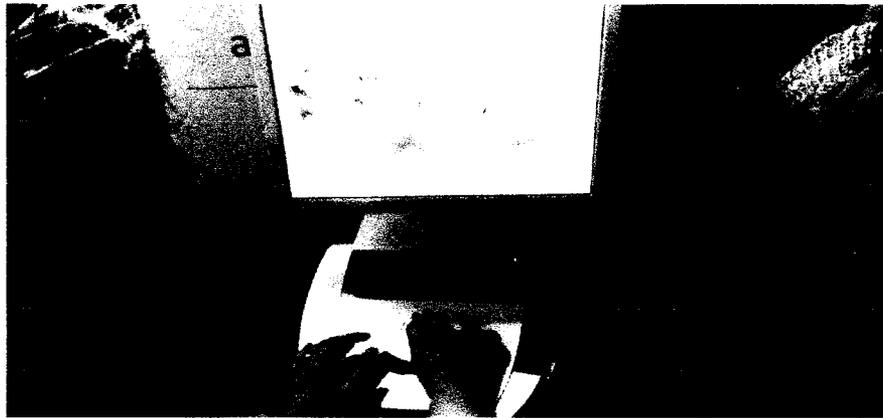


Fig. 25 : Zones rouges signifiant des futurs contacts prématurés

Il existe une grande variété de logiciels de CAO / FAO, qui offrent une multitude d'outils pour créer et modifier la restauration proposée, ceux qui sont actuellement disponibles sur le marché sont constamment améliorés. Les dernières possibilités de construction sont en permanence disponibles pour l'utilisateur par le biais des mises à jour. (35)

### VII.3 - Fabrication assistée par ordinateur (FAO) :

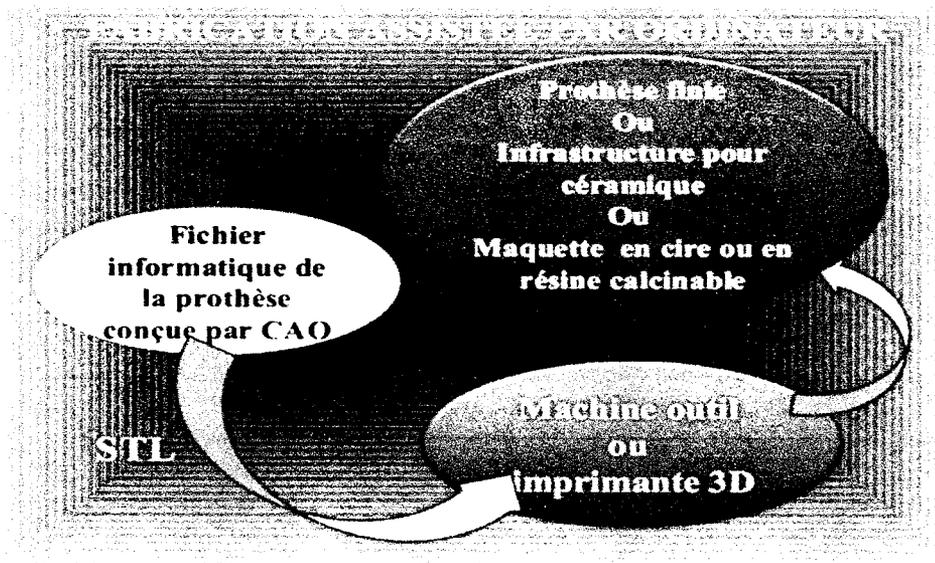


Fig. 26 : Principe de la fabrication assistée par ordinateur (19)

Une fois le projet validé, la pièce prothétique ou son infrastructure sont usinés dans une unité de fabrication, pilotée par ordinateur ayant réalisée la CAO, qui matérialisera la prothèse dans le matériau choisi par le praticien selon le cas clinique. Le passage du modèle virtuel à la prothèse réelle est appelé conversion

digitale/analogique.

Cette étape peut concerner simultanément plusieurs pièces, voire des dizaines de pièces. Une même machine à commande numérique peut produire toutes sortes de pièces prothétiques et peut faire appel à différents matériaux : résine, céramiques, métaux. Elle se réalise sur place ou bien encore d'une façon délocalisée (données numériques transmises par internet).

La FAO est basée sur deux opérations primordiales ; la préparation pour la fabrication et la réalisation des séquences de mise en forme d'une ou de plusieurs maquettes numériques.

La fabrication peut se faire via la méthode soustractive (usinage par fraisage) ou les méthodes additives. (34)

### **VII.3.1 - Fabrication par soustraction :**

C'est le procédé le plus courant pour les systèmes de CFAO. Une pièce prothétique est usinée par fraisage, donc soustraction de matière, à partir d'un bloc de matériau pré fabriqué.

Actuellement, la plupart des systèmes de production reposent sur le principe d'un usinage par soustraction. En partant des données numérisées de la prothèse souhaitée, une machine-outil travaille un volume de matériau par soustraction de copeaux (par fraisage) pour aboutir à la pièce correspondante à la maquette numérique. La nature du bloc de matériau correspond au choix du matériau retenu pour la prothèse et sa dimension est choisie en fonction de la dimension de la ou les pièces attendues.

En fonction du modèle de l'unité d'usinage et du choix de la vitesse d'usinage, il faut entre 8 et 30 minutes pour tailler une pièce prothétique.

La FAO est régie par un logiciel de FAO qui pilote la machine-outil. Ce logiciel programme le parcours des outils qui composent la machine en fonction des outils qu'elle contient, de la vitesse de coupe et d'avance, et de la stratégie d'usinage.

Cette stratégie d'usinage est semblable en fonction du type de restauration car la morphologie des armatures répond aux mêmes critères (une chape aura toujours sensiblement la même forme). Ainsi les programmes d'usinage sont automatisés en fonction de la prothèse à réaliser (couronne, bridge, pilier, etc.). (35)

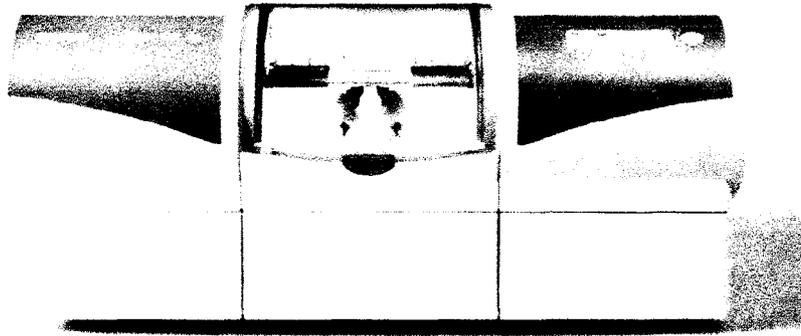


Fig. 27 : Unité d'usinage MC-XL SIRONA (97)

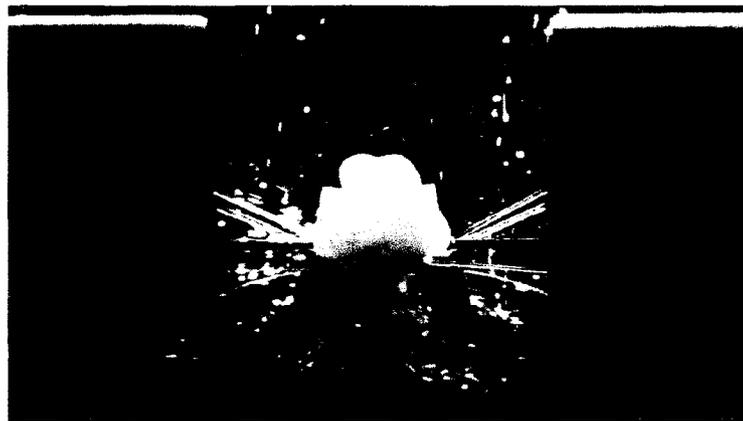


Fig. 28 : Fraisage de la pièce prothétique avec le travail simultané des deux fraises sous irrigation d'eau (25)

Les machines-outils qui usinent ces blocs de matériaux sont plus ou moins complexes. On parle selon le nombre de moteurs et donc d'axes de déplacement, ou de rotation, de machines-outils allant de trois à cinq axes (3, 4, 5, 3+1, 3+2, 4+1 axes).

-Les machines à 3 axes peuvent usiner des couronnes, des barres simples, des bridges et des chapes.

-Les machines à 4 axes sont capables, en plus des indications des machines à 3 axes, d'usiner des piliers implantaires.

-Les machines à 5 axes peuvent usiner, en plus des autres machines, des pièces prothétiques complexes (barres divergentes) et plusieurs piliers simultanément.

Les capacités machines ne suffisent pas, il faut en plus posséder un logiciel de FAO capable de générer en automatique les programmes d'usinage à adresser au directeur de commande numérique de la machine.

Dans le domaine des métaux, cette technique permet aujourd'hui d'usiner de la zircone pré-frittée et des matériaux calcinables et plastiques.

Certaines machines plus imposantes, plus spécifiques et plus onéreuses permettent l'usinage du titane, du chrome-cobalt et de la zircone frittée.

L'usinage par soustraction est la technique qui offre le plus de précision, elle est donc indiquée dans la réalisation des supra structures implantaires nécessitant une excellente passivité.

En effet, La fraiseuse exécute des commandes pour l'enlèvement des matières qui ne sont pas recherchées dans le produit final. Cette méthode est également connu sous le nom «manufacturing soustractive». Il a été démontré que la fabrication soustractive réduit le temps de production globale et donne des produits complexes qui auraient été difficiles à créer autrement à travers les procédés classiques de soins dentaires.

Cependant, cette technique engendre des pertes importantes de matériaux lors de l'usinage. (25)

### **VII.3.2 - Fabrication par addition :**

La fabrication additive consiste en la mise en forme d'un objet par ajout de matière par empilement de couches successives (contrairement à l'usinage par soustraction qui met en forme un objet par enlèvement de matière).

Pour des restaurations plus complexes qui ne peuvent être obtenues par usinage classique ou par coulée, il existe des machines qui travaillent par adjonction. Cependant l'économie de matériau reste pour l'instant la raison la plus fréquente d'usinage par addition.

En technique additive, chaque machine est dédiée à un seul type de matériau. Elle concerne généralement les métaux (acier et titane), la cire et la résine calcinable.

Ces machines sont réservées aux laboratoires et aux centres d'usinage, contrairement aux usineuses utilisables par les praticiens en CFAO directe. (25)

### **VII.3.3.1 - Impressions 3D :**

Elles permettent le modelage par dépôt sélectif en jets multiples d'une cire durcie par chauffe ou d'une résine photosensible liquide durcie par polymérisation UV. Cette opération est assurée par des imprimantes 3D.

L'expression «imprimante 3D» désigne les machines de fabrication additive utilisant le même principe que l'impression par jet d'encre pour le dépôt sélectif, soit du matériau à l'état liquide, soit d'un liant venant agglomérer des poudres.

Dans le langage usuel, cette expression désigne les machines de fabrication additive pouvant s'utiliser dans un environnement de bureau et permettant un rechargement facile du matériau, en remplaçant une cartouche ou en remplissant un bac.

Par exemple, les imprimantes 3D à jets de cire ou de résine permettent aussi de réaliser par addition des maquettes en cire ou en résine calcinable. Ces maquettes sont destinées à être secondairement coulées par les méthodes de la prothèse traditionnelle (Cynovad®).

#### VII.3.3.1.1 - Procédé par injection de cire :

Les couches successives (13 à 76 microns) se font par l'injection simultanée de deux cires :

- Celle du modèle
- Celle du support

La cire se solidifie naturellement.

Entre chaque couche, est réalisé un fraisage pour assurer une planification parfaite et augmenter la précision (Solidscape)

Entre chaque passage, un test de vérification est réalisé pour vérifier l'état des buses de la tête d'impression.

Une fois la pièce obtenue, il reste à la couler par la technique de la cire perdue.

Même si ce procédé que propose Solidscape reste facile d'utilisation et que l'on obtient des résultats extrêmement précis, le temps de fabrication est long même pour des petites pièces : 24 heures,

Elle est surtout indiquée pour l'orthodontie

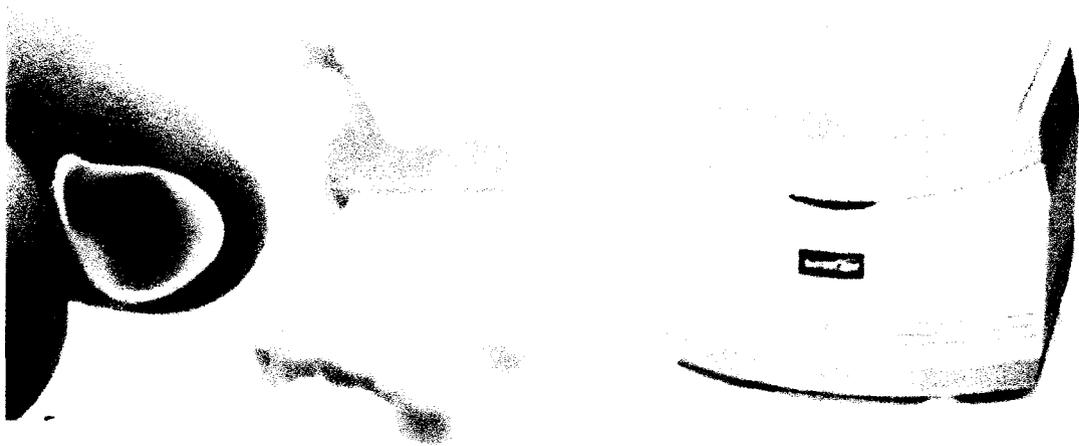


Fig. 29 : Exemple de production de modèle en cire et machine D76+ de Solidscape (25)

#### VII.3.3.1.2 Procédé par injection de résine et polymérisation par ultra-violets :

C'est donc un assemblage par couches successives (16 à 32 microns de micro gouttelettes de matériau thermoplastique, appliquées par micro-buses qui vont se solidifier par UV aboutissant à l'ébauche de la prothèse.

Le support est éliminé par une dilution dans un bain de solvant élevé en température ou par le jet d'un solvant

Les objets finis sont nettoyés, puis les pièces résultantes sont coulées en fonderie par une technique de cire perdue.

Elle est indiquée pour la réalisation de maquettes calcinables de couronnes, d'armatures de bridges et de châssis de prothèses amovibles partielles.

Cette machine peut réaliser 160 éléments par cycles de 5 heures.

Cette machine que propose 3D Systèmes ne possède pas de vérification automatisée de ses buses, il faut donc les nettoyer soi-même régulièrement. Cependant, elle est plus productive que la précédente.

Mais son matériau de base a un coût élevé et elle n'est paramétrée que pour ce matériau. (25)

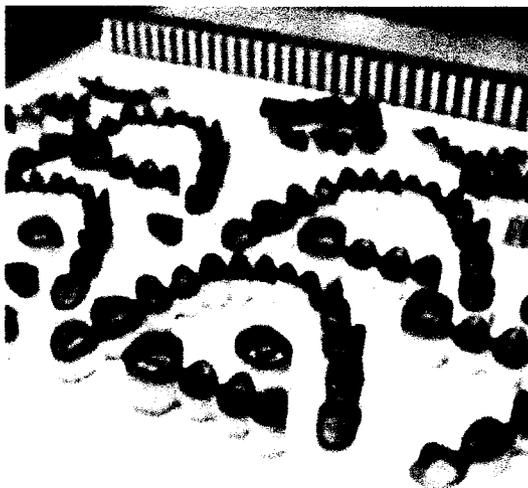


Fig. 30 : Exemple de production de modèle en résine calcinable et machine Projet DP3000 de 3D systèmes (25)

### VII.3.3.2 - La stéréolithographie :

Parmi les méthodes de prototypage rapide, la stéréolithographie est actuellement l'une des plus fidèles pour le rendu des détails. Elle permet de fabriquer des objets solides à partir d'un modèle numérique. Elle repose sur la polymérisation couche par couche d'un monomère liquide photosensible par irradiation à l'aide d'un faisceau laser UV piloté par ordinateur.

Il est possible de régler l'épaisseur des couches Jusqu'à  $1 \mu\text{m}$ , ce qui explique l'excellente précision. Le durcissement a lieu dans un bain de résine liquide.

Cette méthode permet de fabriquer avec une précision très élevée des modèles géométriquement complexes. La commande du laser se fait de façon entièrement automatique en fonction des données 3D numériques retraitées au centre informatique du fabricant après l'enregistrement par le scanner.

La stéréolithographie trouve son intérêt aussi dans la fabrication des guides chirurgicaux, L'utilisation d'un guide chirurgical stéréolithographique apporte au patient une meilleure sécurité, par rapport à un guide chirurgical ordinaire, en améliorant la précision et la position future de l'implant.

Plusieurs méthodes sont basées sur le principe de la stéréolithographie : la photopolymérisation, le laminage, le frittage laser, etc.

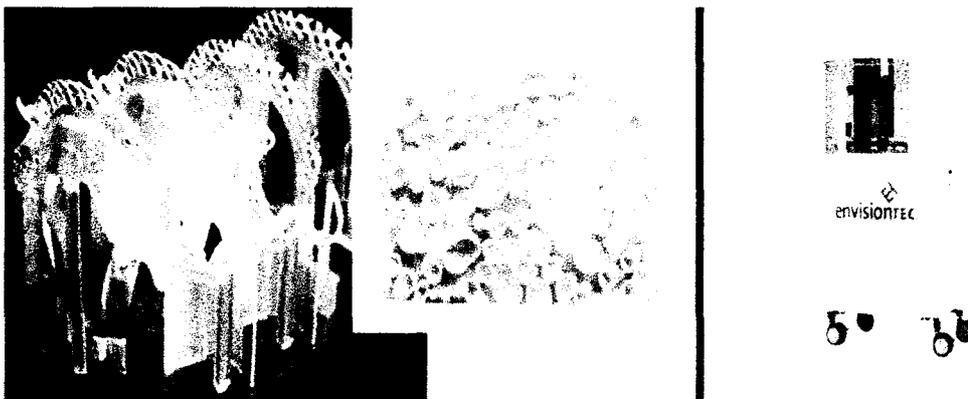


Fig. 31 : Exemple de production sur Perfactory DDP (106)

### VII.3.3.3 - La microfusion (ou Frittage Laser)

En 2003, la fabrication additive a fait une avancée importante avec la microfusion de poudres métalliques par Laser ou par faisceaux d'électrons. Le procédé consiste à faire fondre la poudre selon les paramètres géométriques définis à partir du fichier CAO, puis la poudre fondue est solidifiée rapidement grain par grain en l'échauffant suffisamment point par point par laser afin que les particules se soudent entre elles, formant ainsi des cordons de matière solide. La succession des couches aboutit à l'élaboration de la restauration finale.

Ce concept est une évolution du procédé de stéréolithographie qui utilise l'énergie d'un rayon laser pour polymériser en forme une résine liquide. Le frittage

laser sélectif, lui, utilise l'énergie apportée par un faisceau laser pour durcir un matériau en phase plastique ou poudre (25)

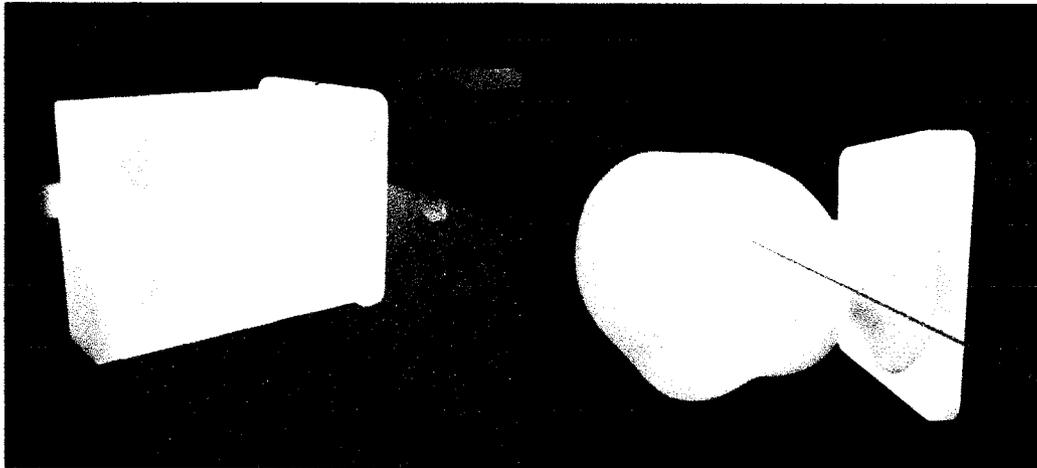


Fig. 32 : Frittage par laser (107)

## VIII - Ajustements finaux :

### VIII.1- Essai esthétique, contrôle de l'occlusion et de l'adaptation marginale :

A la sortie de la machine-outil, la pièce usinée est essayée en bouche.

La caméra n'enregistre pas les éventuelles contre-dépouilles, si la pièce prothétique est difficile à insérer, seuls les points de contact peuvent être en cause.

La teinte est vérifiée par le praticien en fonction des dents adjacentes et antagonistes. Le patient lui-même la valide définitivement. Il est possible d'effectuer des retouches par maquillage de surface.

Le passage du fil de soie en inter-dentaire permet de contrôler la force des points de contact.

L'occlusion doit être parfaite : le papier articulé doit marquer quelques contacts francs et nets mais sans être trop importants. Les contacts trop forts sont éliminés par des instruments diamantés de diamètre et granulométrie moyens. Mais la prothèse étant fragile avant le collage, le contrôle de l'occlusion doit être réalisé très délicatement.

Le passage d'une sonde entre la dent et la prothèse permet de vérifier l'adaptation marginale de cette dernière

## VIII.2 - Maquillage et polissage mécanique ou glaçage :

Après tous ces réglages, un polissage mécanique par abrasion est indispensable. On utilise des abrasifs de granulométries descendantes qui fonctionnent avec une instrumentation rotative.

Des fraises diamantées sont utilisées en occlusal principalement ; les disques travaillent plutôt pour polir les points de contact.

Le glaçage au four donne des résultats comparables mais n'est pas un gain de temps réel pour le praticien, à cause du temps de cuisson et de refroidissement. De plus il nécessite l'acquisition d'un appareil supplémentaire.

Le polissage mécanique nécessite un temps de travail supérieur au temps réel de travail des techniques par glaçage, et équivaut à 15-20 min, réglage de l'occlusion compris.

Le maquillage est facultatif mais en cas de reconstitution esthétique antérieure ou visible par le patient ou son entourage, il paraît nécessaire de parvenir à la perfection mimétique.

Le maquillage est appliqué au pinceau en petite quantité sur la pièce prothétique dégraissée et sèche. Cette étape est rapide et donne satisfaction au patient, tout en n'étant pas une perte de temps pour l'opérateur.

La cuisson n'aura aucune incidence sur le rendu esthétique final car aucun estompage du maquillage n'est obtenu.

En cas de glaçage, 2 étapes successives sont à respecter :

- 1<sup>ère</sup> étape : après le maquillage, on applique de la « glasure » avec un pinceau, sans déborder sur l'intrados.

- 2<sup>ème</sup> étape : la pièce prothétique est insérée dans un four, avec un programme de cuisson de 10-15 min spécifique selon le matériau utilisé, qui monte à une température inférieure à la température de fusion du bloc de céramique.

Le temps de cuisson peut être utilisé par le praticien pour d'autres soins sur le patient.

Ce glaçage permet une fermeture des pores, une mise en compression des couches internes et donne une surface lisse et brillante. De plus c'est la seule méthode pour le maquillage.

En cas de corrections de l'occlusion nécessaires après le collage, un polissage par des instruments diamantés de fine granulométrie permet de rendre un état de surface satisfaisant.

La chaîne de CFAO se termine par l'assemblage, par collage ou scellement, de la pièce fabriquée au tissu dentaire restant (36)

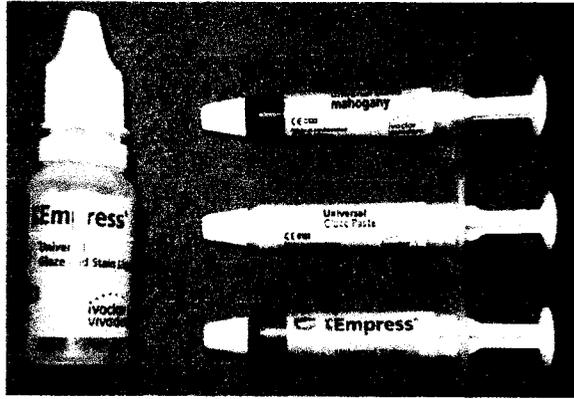


Fig. 33 : Kit de maquillage et de glassure (36)



Fig. 34: Four a cuisson IVOCLAR VIVADENT P500 (36)

## IX - Les matériaux en CFAO :

Ensemble des matériaux accessibles par CFAO (métaux, céramiques, composites et résines).

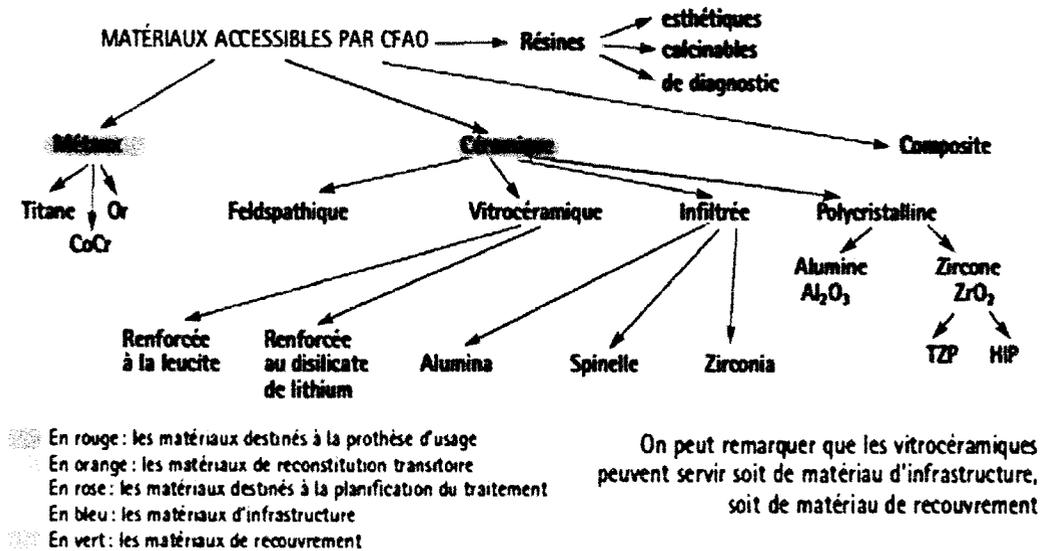


Fig. 35 : Schéma représentant l'ensemble des matériaux usinables par CFAO (108)

Toutes les familles de matériaux sont accessibles par usinage : les alliages métalliques, les céramiques, les composites et les résines. Une nouvelle famille de matériaux, accessibles uniquement par CFAO, constitués d'un réseau de céramique infiltré d'un polymère (RCIP), vient de faire son apparition : les matériaux hybrides (Enamic®, Vita).

On distingue quatre grands famille de matériaux : les résine, les composite, les métaux et les céramique.

Pour étudier la pérennité des matériaux employés, leurs propriétés mécaniques doivent être énoncées. (37)

## IX.1 - Les propriétés mécaniques des biomatériaux dentaires :

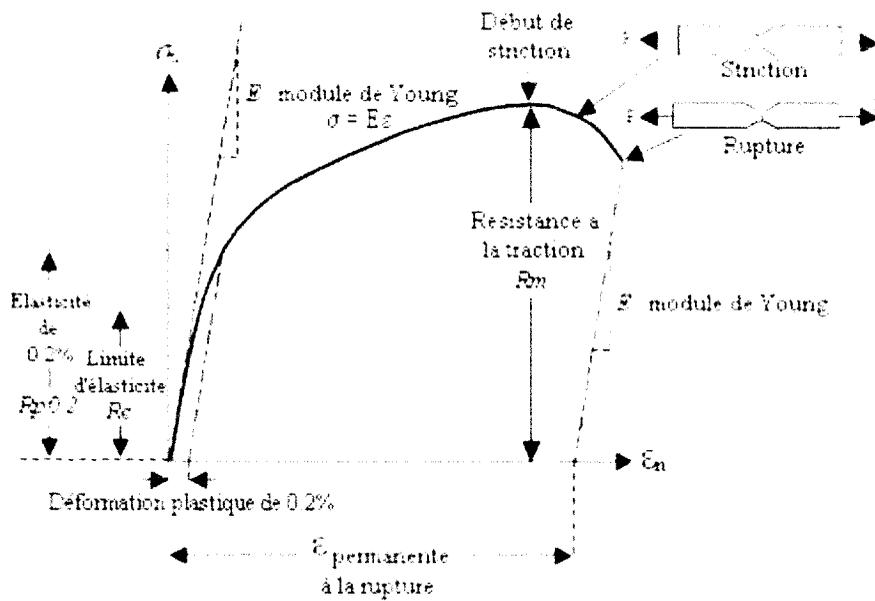


Fig. 36 : Les propriétés mécaniques des biomatériaux dentaires (37)

### > La résistance à la flexion

La résistance à la flexion indique la valeur de la contrainte de flexion à partir de laquelle un échantillon se brise.

### > La résistance à la rupture

La résistance à la rupture indique la valeur à partir de laquelle une pièce se brise. Les valeurs sont généralement exprimées en N (Newton)

### > Le module d'élasticité

Le module d'élasticité indique la rigidité d'un matériau, c'est-à-dire sa résistance à la déformation élastique.

### > La rigidité

C'est la capacité d'un corps solide à s'opposer à des déformations lorsqu'il est soumis à des sollicitations mécaniques.

### > Test de résilience

Résistance au choc : mesure l'énergie nécessaire pour casser une éprouvette préalablement entaillée.

### > Ductilité (allongement)

Mesure la capacité d'un matériau à être étiré et transformé en un fil ; c'est la quantité de déformation plastique pouvant être supportée par un matériau. Elle traduit aussi l'aptitude d'un matériau à être travaillé à froid.

### ➤ **La ténacité**

La ténacité ou  $K_{IC}$  est un paramètre qui quantifie la résistance d'un matériau à la propagation d'une fissure. La  $K_{IC}$ , également appelée facteur critique d'intensité de tension ou résistance à la propagation des fissures, désigne le seuil à partir duquel une pièce défaille de manière catastrophique et l'énergie emmagasinée est libérée sous forme de nouvelles surfaces, de chaleur et d'énergie cinétique.

### ➤ **Comportement de résistance à la fatigue**

Le terme « fatigue » fait référence à la dégradation d'une pièce qui est soumise à des contraintes cycliques. Un test cyclique permet de déterminer la résistance à la fatigue d'une pièce ou d'un matériau.

### ➤ **La dureté**

La dureté est un paramètre qui indique la résistance qu'oppose un corps à la pénétration d'un autre corps. (38)

## **IX.2 - Propriétés physiques des matériaux :**

- **Température de cuisson** : elle varie selon la composition de la céramique :  
o 650°C pour une céramique basse fusion (utilisée pour les céramo-métal)  
o 1400°C pour une zircone L'élévation de la température et de la durée de cuisson entraîne une augmentation de la résistance. La cuisson densifie le matériau et élimine les porosités. La température de cuisson se doit d'être connue en cas de restauration céramo-métallique nécessitant une montée en température de la couche superficielle capable d'être supportée par la couche métallique sans engendrer de déformation.

- **Conductivité thermique** : les céramiques sont des isolants thermiques. Cette propriété est intéressante en cas de reconstitution sur dent vivante.

- **Stabilité chimique** : la meilleure stabilité chimique des céramiques par rapport aux métaux leur permet de mieux résister aux agressions chimiques et explique leur biocompatibilité. (39)

### **IX.3 - Les alliages métalliques :**

#### **IX.3.1 - Les alliages précieux :**

Les alliages précieux contiennent au minimum 75 pour cent de métaux précieux (or, argent, platine, etc.). Ils sont caractérisés par leur biocompatibilité, leur résistance à la corrosion (électronégativité de l'or), une dureté fiable, mais : variable selon le pourcentage exact de métaux précieux, ce qui définit quatre types d'alliage précieux.

Le type 1 à la plus forte teneur en métaux précieux (83 pc) et est le moins dur.

Le type 4 est le plus dur et contient plus d'éléments d'addition qui lui confèrent ses propriétés chimiques, physiques et mécaniques.(67)

Mais Pour des raisons diverses, notamment le coût et la difficulté et les pertes importantes de matériaux (les copeaux du bloc usiné sont difficilement recyclables) les alliages précieux ne donc sont peu voire pas utilisés en CFAO.

Cependant le titane et le Cr-Co sont les métaux les plus utilisés en CFAO.

#### **IX.3.2 - Le titane :**

Le titane est un élément chimique représenté par le symbole de Ti, avec le nombre atomique de 22 (ce qui représente 22 des protons et des électrons 22) et la masse atomique égale à 47,90u. C'est un métal de transition léger, solide, métallique de couleur blanche, brillante, résistant à la corrosion et solide dans la température ambiante.(68)

L'utilisation de titane et alliages de titane pour des applications médicales et dentaire s'est augmentée de façon spectaculaire au cours des dernières années. Titane (prononcé/titane) était découvert en Angleterre par William Gregoren 1791 et nommé par Martin Heinrich Klaproth pour les Titans de la mythologie grecque.

ASTM International (American Society for Testing and Materials) reconnaît quatre grades de titane commercialement pur, ou Ti, et trois alliages de titane (Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V Extra Low interstitielles [bas composants] et Ti-AlNb).

En outre, la porcelaine dentaire peut être fondue et liée au titane pour produire, une restauration réaliste esthétique.

Les alliages de type TA6V4 ont des excellentes propriétés mécaniques, ils sont donc utilisés pour la confection d'implants, et peuvent être usinés.(69,70)

##### **IX.3.2.1 - Propriétés du titane :**

- **Biocompatibilité**

Pas d'allergies ont été documentées pour le titane pur. Son biocompatibilité a été prouvée cliniquement. L'affinité prononcée de titane à l'oxygène, même dans des solutions aqueuses, peuvent être considérées comme la raison fondamentale pour son comportement biochimiquement inerte et sa biocompatibilité.(71)

- **Propriété mécanique :**

Le module d'élasticité des quatre qualités différentes de titane est similaire (103 GPa), et l'alliage de titane est légèrement supérieure (113 GPa)

Ce qui traduit une relative souplesse contraignant à sur dimensionné les pièces de longue portée.(72,73)

**Résistance à la fatigue :** les alliages en titane présente des caractéristiques mécaniques améliorées par rapport à Cpier Ti-6Al-4V avec une valeur de résistance à la traction de 953MPa et une valeur de résistance à la fatigue de 230N, selon la norme ISO14801.(74)

**Résistance à la rupture :** résultats voisins pour l'alliage de titane et le CoCr

**Limite d'élasticité :** elle exprime l'aptitude d'un alliage à retrouver sa forme d'origine après avoir subit une contrainte. Cette propriété est déterminante dans le choix d'un matériau servant d'infrastructure à un bridge de longue portée, ou à une armature de PPAC. Elle est supérieure aux alliages de CoCr.

**Ductilité :** l'allongement permanent est de 30 %, ce qui permet le brunissage au laboratoire ou la finition des joints sur des éléments unitaires de prothèse fixée.

**Dureté :** de l'ordre de 60 à 130 pour le titane commercialement pur, elle est inférieure aux alliages CoCr mais identique aux alliages d'or ou au NiCr.(73)

- **Propriété physique :**

- Une masse spécifique faible ( $\rho = 4,5 \text{ g.cm}^{-3}$ ), deux fois plus faible que celle des alliages chrome-cobalt. A volume égal, le poids des éléments prothétiques en titane est pratiquement deux fois moindre que ceux réalisés en alliage Ni-Cr ou Co-Cr et environ quatre fois moindre que ceux réalisés en alliage base Au.
- Un point de fusion élevé (aux environs de 1720 °C selon le degré de pureté) qui le classe dans la série des matériaux réfractaires.
- Une conduction thermique très inférieure aux autres alliages utilisés en prothèse.  
Cette conduction thermique constitue un inconvénient par rapport aux alliages CoCr utilisés lors de la confection de plaques métalliques coulées. (40)

### IX.3.3 - Le Cr-Co :

Généralement désignée sous le nom de commercial de stellites, les alliages chrome cobalt sont essentiellement des alliages base cobalt, soit ternaires, cobalt-chrome molybdène

(Alliages classiques), soit quaternaire cobalt-chrome-nickel molybdène (alliages plus récents) auxquelles sont ajouté différents élément en faible quantité afin d'en modifier les propriétés.(75)

- **Biocompatibilité :**

La majorité des cas de manifestations allergiques provoquées par les alliages prothétiques mettent en cause les aciers nickel chrome et cobalt-chrome, puisque le nickel, le chrome et, à un moindre degré, le cobalt, font partie des éléments reconnus comme les plus sensibilisants.

Il a été répertorié aussi dans la littérature plusieurs cas de d'eczémas de contacts chez des professionnels de santé provoqués par la manipulation de prothèses contenant du nickel, du chrome ou du cobalt.(76)

- **Toxicité :** Les alliages cobalt-chrome et nickel chrome-molybdène affichent une tolérance comparable aux alliages les plus nobles après plusieurs jours de mise en culture (passivation).(77)

- **Corrosion :** Une étude de GERAHAMMER et coll. (2003) montre l'excellente résistance à la corrosion d'un alliage cobalt-chrome (Co>25% Cr+Co>85% Mo>%).aucune composant de l'alliage cobalt-chrome n'est retrouvé dans les tissus adjacents, contrairement a ceux d'alliage précieux a faible teneur en Or ou ceux a bases de palladium.(41)

- **Propriété mécanique :**

- Le module d'élasticité**

Il est d'environ 180 GPa, les alliages cobalt-chrome et cobalt-chrome-nickel sont les plus rigides (valeur la plus élevée du module d'élasticité), suivis par les alliages nickel-chrome-béryllium (80 % de la valeur des alliages à base de cobalt) et par les alliages à base d'or : 40 % à 50 % de la valeur des alliages à base de cobalt.

- Résistance à la fatigue**

Les tests in vitro ont indiqué que les prothèses produites par des alliages Co-Cr ont montré une résistance à la fatigue supérieur par rapport à ceux en alliages, Au alliage Ti et Ti. Ce dernier a démontré moins de perte de rétention après trois ans d'utilisation simulée par rapport à celles produites par les alliages Co-Cr, avec l'ancien montrant plus faible incidence de fracture. In vivo, les résultats ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives dans l'incidence des fractures ou une perte de rétention entre Ti et des alliages Co-Cr, indiquant l'incohérence entre les observations cliniques et de laboratoire.

**Limite d'élasticité** elle est d'environ 600 MPa, 87 ksi a 700 MPa, 102 ksi (41)

- **Propriété physique :**

- Leur légèreté, source certaine de confort due à leur faible masse volumique de l'ordre de 8 à 8,5 g/cm<sup>3</sup> implique la prévision d'une masse d'alliage plus importante que nécessaire, pour obtenir lors de la centrifugation une pression d'injection suffisante, et une meilleure coulabilité

- La température de fusion est atteinte entre 1350 et 1400 °C. Elle est supérieure à celle des alliages précieux. La surchauffe de ces alliages entraîne un grossissement des grains et une diminution des propriétés mécaniques. C'est pour cette raison que l'on doit contrôler exactement la température de fusion, pendant la coulée.
- La conductibilité thermique du Cr-Co est de l'ordre de 103W/m.K qui est supérieur par rapport au titan. (42,78)

#### **IX.4 - Les céramiques :**

##### **IX.4.1 - Historique :**

Le terme céramique provient de keramos , mot grec qui signifiant argile. Il a d'abord désigné des poterie recouverte d'émail avant d'être étendue a toute la porcelaine et a d'autre produits essentiellement constitué de silicate et qui représentes les céramique classique.(79)

Les applications dentaires de la porcelaine datent de 1774, lorsqu'un apothicaire Français Alexis Duchateau inventa les premières prothèses totales entièrement en porcelaine.(80)

##### **IX.4.2 - Définition :**

Les céramiques sont également des matériaux inorganiques présentant des liaisons chimiques covalentes. Elles sont elles aussi mises en forme à partir d'une poudre agglomérée puis consolidées par frittage. Par contre, à la différence des verres, les céramiques sont constituées de 2phases distinctes.

Les céramiques sont des matériaux biphasés et comportent :

- une phase vitreuse : la matrice (désordonnée)
- une phase cristalline dispersée (ordonnée).

L'incorporation de cette phase cristalline dans la matrice vitreuse a permis une amélioration significative de la dureté et de la résistance des céramiques par rapport à celles des verres, car la présence de cristaux ralentit la propagation d'une fissure et donc diminue le risque de fracture.(81)

### IX.4.3 - Classification des céramiques dentaires :

La Classification de la céramique en dentisterie est apparemment une tâche impossible en raison des vastes améliorations apportées dans leurs compositions. Néanmoins, le tableau fourni ici donne une idée générale de la céramique en dentisterie.

**Tableau 1** : Classification des céramiques dentaires(82)

Selon la microstructure	<p><b>Catégorie1</b> : les systèmes à base de verre (principalement la silice)</p> <p><b>Catégorie2</b> : les systèmes à base de verre (principalement de silice) avec des charges habituellement cristallin (typiquement leucite ou un autre verre à haute fusion)</p> <p><b>a)</b> Faible à modéré en verre feldspathique contenant leucite</p> <p><b>b)</b> Haut-leucite (environ 50%) - contenant du verre, verre-céramique (Par exemple : IPS Empress)</p> <p><b>c)</b> Lithium disilicate vitro céramiques (IPS e.max® céramique pressée et machinable)</p> <p><b>Catégorie3</b> : les systèmes à base Cristalline-avec des charges de verre (principalement d'alumine)</p> <p><b>Catégorie4</b>: solides polycristallins (alumine et de zircone)</p>
Selon la technique de traitement	<p><b>1)</b> Les systèmes à base de verre en poudre/ liquide</p> <p><b>2)</b> Blocs Pressable de systèmes à base de verre</p> <p><b>3)</b> Les systèmes de CAO / FAO</p>
Selon la composition	<p><b>Silicates</b> : Ils sont caractérisés par la phase de verre amorphe, contenant principalement de la silice.</p> <p><b>céramique d'oxyde</b> : Il est à noter que seuls les céramiques d'oxydes ont utilisés dans l'art dentaire, étant donné que le céramique non-oxyde est difficile à traiter. la céramique d'oxyde contient une phase cristalline principale, comme l'alumine.</p> <p>Zircona une très haute résistance à la rupture.</p> <p><b>Vitrocéramique</b> : Ce sont des céramiques de type qui contient une phase de matrice en verre et au moins une phase cristalline.</p> <p>Bien que la classification des céramiques dentaires à base de composition soit pas beaucoup d'importance aujourd'hui, en raison des progrès réalisés, il est inclus pour une importance historique.</p>

Selon le type	Porcelaine feldspathique. Leucite-renforcé porcelaine, porcelaine alumineuse. Verre infiltré l'alumine, le verre infiltré zircon. Vitrocéramique.
Selon la température de cuisson	Ultra-basse fusion < 850 ° C Basse fusion 850 ° C - 1100 ° C Medium Fusion 1101 ° C - 1300 ° C Haute fusion > 1300 ° C
Selon la sous structure métallique	Caste Métal, métal sertis, céramique de verre. la céramique de base frittés et CFAO porcelaine.  Les différents types de métaux dans les céramiques métalliques comprennent les alliages nobles, tels que des alliages d'or, les métaux de base comme le fer, l'indium et l'étain.  Métaux purs comme alliages commercialement titane pur, le platine, l'or et le palladium et les alliages de métaux de base (nickel, chrome).
Selon la méthode de renforcement	systèmes de base en céramique renforcés céramiques liées à la résine Métal-céramique

#### IX.4.4 - Propriétés mécaniques

**Ténacité** : la transformation de la structure cristalline que subissent les céramiques (à base de zircon) lorsqu'elles sont soumises à une contrainte explique la ténacité élevée de ces matériaux.

**Dureté** : - Email : 340 HVN - Céramique feldspathique : 460 HVN - In Céram : 120 HVN Une part importante de cristaux diminue la propagation des fissures mais réduit leur translucidité. La rupture des céramiques étant souvent initiée par extension brutale d'un défaut interne (porosité) ou de surface, la conception et la finition d'une céramique doit donc être parfaite pour assurer sa pérennité. Un polissage minutieux s'impose après chaque retouche.

**Tableau 2** : Comparaison entre les propriétés mécaniques de la céramique et les autres tissus dentaires (83)

Propriétés mécaniques	Opaque	Céramique	Email	Dentine
Module élastique (GPa)	95	60	80	20
Résistance à la rupture (compression) (MPa)	1000	500	500	230
Résistance à la rupture (en tension) (MPa)	130	60	7	60
Dureté (Hv)	410	380	320	70

#### IX.4.5 - Propriétés physiques :

**Thermiques** : les céramiques sont des isolants thermiques. Leur coefficient de dilatation thermique est adaptable en fonction de leur utilisation.

**Electrique** : le déplacement des charges électriques ne pouvant se produire que par diffusion ionique, les céramiques sont des isolants thermiques.

**Optiques** : les rendus des céramiques vont de l'opaque au transparent, avec des luminosités variables, des effets de fluorescence, d'opalescence, avec des couleurs et des saturations différentes. Tout ceci est obtenu en jouant sur la composition, la nature chimique et la quantité de pigments répartis dans la phase vitreuse. (43,79,80)

#### IX.4.6 - Les différents types de céramiques :

##### IX.4.6.1 - Les céramiques feldspathiques :

Les céramiques feldspathiques sont constituées de poudres d'oxydes, de fondants et de pigments colorés frittés dans une matrice vitreuse. Ces céramiques feldspathiques sont généralement renforcées à la leucite ou à l'albite. On les retrouve sous forme de blocs pour la CFAO. Les céramiques feldspathiques comme toutes les céramiques sont biocompatibles. Leurs propriétés esthétiques sont bonnes, même si un maquillage reste nécessaire pour les réalisations antérieures. Les blocs de céramiques feldspathiques sont disponibles sous différentes formes aux propriétés variables.

##### IX.4.6.2 - Les vitrocéramiques :

Les vitrocéramiques sont des matériaux de structure composite comprenant une phase vitreuse, appelée matrice de verre, renforcée par différentes phases cristallines. Ces céramiques comportent une haute teneur de phases dispersées (soit une proportion de phase cristalline noyée dans une matrice vitreuse). Elles sont soit

issues d'un verre monphasé transformé par traitement thermique de cristallisation, aboutissant ainsi à une structure biphasée, soit issues d'un mélange comportant initialement les deux phases.

Il existe deux grandes familles :

**Une famille dont la phase majoritaire est la leucite :**

Elle est constituée de 62% de dioxyde de silicium et de 19% d'oxyde d'aluminium auxquels sont ajoutés les cristaux de leucite. Les cristaux sont répartis au sein d'une matrice de verre.

La leucite sert donc d'élément de résistance à la flexion (117 MPa) en diminuant les contraintes attribuables aux différences entre les coefficients de dilatation des composants de cette céramique. En effet, cette différence entraîne une contrainte de cisaillement à l'intérieur des cristaux de leucite et de compression au sein de la matrice vitreuse, ce qui prévient ainsi les micro craquelures de la céramique.

Grâce à une technique de pressée à chaud, l'organisation des cristaux et leur répartition sont homogènes dans le matériau favorisant également la résistance aux fractures.

**L'autre dont la phase majoritaire est le disilicate de lithium :**

Les céramiques à base de disilicate de lithium sont composées de quartz, d'oxyde de lithium, d'oxyde d'alumine, d'oxyde de potassium, d'oxyde phosphorique et d'autres adjuvants. La structure finale de ce matériau est représentée par un volume de 70% cristaux de disilicate de lithium.

Ces céramiques offrent de meilleures propriétés mécaniques, ainsi que des performances adhésives supérieures aux céramiques à base de leucite du fait de leur haute teneur cristalline.(84)

#### **IX.4.6.3 - Les céramiques infiltrées :**

Céramiques infiltrées sont fabriquées par un processus appelé coulée de barbotine, ce qui implique la condensation d'une porcelaine barbotine aqueuse sur une matrice réfractaire. Ce noyau cuit poreux est ensuite infiltré de verre, un procédé par lequel du verre fondu est aspiré dans les pores par capillarité à des températures élevées. Matériaux transformés de cette manière présentent moins de porosité, moins de défauts de traitement, une plus grande résistance et la ténacité plus élevée que la porcelaine feldspathique conventionnelle. Ce noyau de verre infiltré est ensuite plaqué avec une céramique feldspathique pour l'esthétique finale. Ceux-ci ont d'excellentes qualités de translucidité et esthétiques, mais ont des propriétés physiques médiocres et exigent que le noyau à haute résistance que les céramiques infiltrées déjà mentionnés peuvent fournir. Le système coulé de barbotine Vita In-Ceram fait usage de trois matériaux différents pour obtenir un bon compromis entre la résistance et l'esthétique.

#### IX.4.6.3.1 - In-Ceram spinell :

Spinelle ( $MgAl_2O_4$ ) est un minéral naturel qui se trouve normalement en même temps que le calcaire et la dolomite. Il est d'une importance dentaire en raison de son point de fusion extrêmement élevé ( $2135\text{ }^\circ\text{C}$ ) associée à sa haute résistance. Spinell est également chimiquement inerte et a une faible conductivité électrique et thermique, mais, plus important encore, il a des propriétés optiques uniques. Il a une force modérée d'environ  $350\text{ MPa}$  et une bonne translucidité. Il est plus que deux fois plus translucide comme In-Ceram alumine en raison de l'indice de réfraction de sa phase cristalline étant proche de celle du verre. Infiltrant verre dans un environnement résulte de vide dans moins de porosité, assurant que ce niveau élevé de translucidité. Souvent, cependant, ce niveau de translucidité peut être excessive et peut conduire à une apparence trop vitreuse de faible valeur.

#### IX.4.6.3.2 - In-Ceram alumine :

L'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) est le plus largement connu sous le corindon terme. En conséquence de la structure constituée de particules  $Al_2O_3$  ultrafines, dont les cavités sont remplies d'un verre spécial, le degré de résistance à la flexion cadre homogène est nettement supérieure à celle de tous les autres systèmes en céramique. Avec un pourcentage pondéral de 10-20% d'oxyde d'aluminium est un composant de feldspath, qui est la matière de départ pour des matériaux de placage de métal et céramique. Les matériaux céramiques pour les parties inférieures de couronnes jackets ont été enrichi jusqu'à 60% en poids avec des cristaux d'oxyde d'aluminium avec une taille de grain de  $10\text{-}30\text{ }\mu\text{m}$  pour augmenter la stabilité. En raison de la grande différence de l'indice de réfraction (feldspath  $n = 1,53$ ; corindon  $n = 1,76$ ), la réfraction de lumière intense se produit dans les cristaux d'oxyde d'aluminium dans le feldspath, ce qui se traduit par l'effet opaque de ces matériaux céramiques  $Al_2O_3$  enrichi. Par conséquent, ils ne conviennent que pour la fabrication de cadres de la couronne avec le placage ultérieur. In-Ceram alumine a une résistance d'environ  $500\text{ MPa}$  et une faible translucidité. Corindon produit synthétiquement avec une taille de grain de  $2\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$  est utilisé pour In-Ceram alumine. Dans la phase solide, il est fritté à  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ , bien au-dessous du point de  $2040\text{ }^\circ\text{C}$  de fusion, et il est ensuite infiltré avec le verre de dentine de couleur à  $1120\text{ }^\circ$

#### IX.4.6.3.3 - In-Ceram zirconia :

Le système de zircone utilise un mélange d'oxyde de zirconium et l'oxyde d'aluminium en tant que cadre pour obtenir une augmentation marquée de la résistance à la flexion dans le cadre de base. L'oxyde d'aluminium représente environ les deux tiers de la structure cristalline comme on le voit sur la micrographie électronique à balayage vers la droite. La structure cristalline restante consiste en oxyde de zirconium tétragonal (particules rondes blanches). La proportion de la phase de verre représente environ 20 à 25% de la structure totale. Cela conduit à la

haute résistance comme déjà vu dans In-Ceram alumine. L'augmentation cependant sur alumine est due à des particules d'oxyde de zirconium qui protègent la structure contre la propagation de la fissure. Il a une très haute résistance d'environ 700 MPa et très pauvre translucidité. (44)

#### **IX.4.6.4 Les céramiques polycristallines :**

C'est l'exemple parfait de matériaux qui n'étaient pas accessibles avant l'apparition de la CFAO. Elles possèdent des propriétés mécaniques exceptionnelles, mais la qualité de la liaison avec la céramique cosmétique reste à améliorer. On distingue dans cette catégorie, l'Alumine et la Zirconie.

##### **IX.4.6.4.1 L'alumine pure :**

Ce sont des blocs d'alumine pure pré frittée. Elle possède d'excellentes propriétés mécaniques et elle est semi-translucide. (85)

##### **IX.4.6.4.2 - La zirconie pure : $ZrSiO_4$ :**

###### **IX.4.6.4.2.1 - La zirconie TZP :**

Elle n'est pas totalement pure, on lui ajoute 3% à 5% d'oxyde d'Yttrium ce qui stabilise la zirconie dans sa phase tétragonale (plus stable que dans la phase monoclinique) d'où son nom : zirconie oxyde TZP (TetragonalZirconiaPolycrystal) (exemple : Lava Frame, Cercon Smart Ceramics, InCeram YZ) avec les propriétés mécaniques suivantes, (norme ISO 6872).

Densité : 6,08 g/cm<sup>3</sup>

Résistance à la flexion : sup à 1200 Mpa

Résistance à la propagation des fissures, tenacité : 15 Mpa/m

Module d'élasticité (Young) : 210 Gpa

CTE : 10 ppm

Point de fusion : 2700°C

Taille des grains : 0,5 microns

Dureté Vickers : 1250 HV

Ce sont des blocs le plus souvent pré frittés, ce qui facilite l'usinage. Elle nécessite également un second frittage, après l'usinage, pour atteindre ses qualités mécaniques optimales. Cette étape provoque une réduction volumique de l'ordre de 25 à 30% qui doit donc être prise en compte par les logiciels de CFAO. Une traçabilité précise par code barre permet de gérer les modalités de cuisson de la pièce usinée.

Elle possède d'excellentes propriétés mécaniques, ainsi qu'un pouvoir réflecteur important. Elles sont maintenant colorables, ce qui atténue ses faibles propriétés optiques. Elle est utilisée pour les couronnes unitaires, les bridges de trois à quatre éléments, ainsi que les piliers implantaires. (86,87,88,89,91,93,95)

#### IX.4.6.4.2.2 - La zircone hip :

Elle est dite pure : son taux de zircone est au minimum de 93,6%

La zircone doit être réduite en poudre homogène, qui est alors compactée à chaud sous une pression

isostatique de 1000 bars transmise par fluide. C'est donc une zircone obtenue par une technique HIP : Hot Isostatique Pressing.

Ce sont donc des blocs ou des disques de zircone HIP prêts à l'usinage par des machines plus puissantes que la zircone TZP, à cause de sa haute résistance mécanique.(94)

Ces propriétés mécaniques permettent la réalisation d'armatures de bridges de grande étendue, voire de bridges complets monoblocs. La zircone HIP permet également la réalisation de pièces très fines et originales, telles que des attelles ou des attachements.(92)

Le système DCS Précédent utilise la zircone HIP de TKT Metoxit AG, Thayngen qui est un mélange pur à 99,9% de ZRO<sub>2</sub> (95%) et Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5%) avec les caractéristiques suivantes :

Densité : sup à 6,08g/cm<sup>3</sup>

Porosité : 0%

Grain : inf à 0,6 microns

Dureté Vickers : 1200 HV

Résistance à la compression : 2000Mpa

Résistance à la flexion : sup à 90Mpa

Module d'élasticité (Young) : 210 Gpa

Résistance à la rupture : 7MpaVm

Les différentes sortes de zircons sont recouvertes de céramiques cosmétiques correspondantes afin de masquer la zircone et de s'intégrer esthétiquement dans la bouche du patient avec ses caractéristiques esthétiques propres. De même que les propriétés mécaniques des différents types de zircons sont trop importantes pour un contact zircone-dent qui serait néfaste pour la dent, il convient donc de la recouvrir de céramique qui possède des propriétés mécaniques plus proches d'une dent naturelle.

Les propriétés de la zircone permettent le remplacement des procédés céramo-métalliques par les procédés céramo-céramiques et favorisent donc la disparition souhaitée du métal par les praticiens et les patients. (46,87,89,90,91,95)

Céramiques vitreuses				Composites	Hybrides
Feldspathiques	Vitrocéramiques	Vitrocéramiques renforcées			
	Enrichie en leucite	Enrichie en disilicate de lithium	Enrichie en silicate de lithium et en zirconie		
<b>Avantages:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recuit clinique</li> <li>- Esthétique</li> <li>- Gamme variée (dégradés de teintes)</li> </ul>		<b>Avantages:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recuit clinique (e.max)</li> <li>- Esthétique</li> <li>- Résistance mécanique</li> <li>- Gamme développée sur translucidité, luminosité, opalescence (e.max)</li> </ul>		<b>Avantages:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usinabilité</li> <li>- Adjonction avec composite direct</li> </ul>	
<b>Inconvénients:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragiles</li> <li>- Translucidité</li> </ul>		<b>Inconvénients:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Translucidité relative du LT</li> <li>- Moins lumineuses</li> </ul>		<b>Inconvénients:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recuit clinique</li> <li>- Esthétique</li> </ul>	
Mark II, Triluxe, Reallife (Vita), Cerec blocs (Sirona)	Empress CAD (Ivoclar Vivadent)	e.Max CAD (Ivoclar Vivadent)	Supnity (Vita), Celtra Duo (Dentsply)	Ambarino High Class (Creamed), Lava Ultimate (3M Espe), Cerasmart (GC)	Enamic (Vita)

Fig. 37 : Les différents type de céramique avantage et inconvénients (46)

**IX.5 - Les résines :**

Des résines destinées à la réalisation, dans les zones antérieure et postérieure, de couronnes ou de bridges provisoires (maximum 60 mm de portée) de longue durée, peuvent être usinées dans des blocs ou des disques. Ces provisoires peuvent servir de bases numériques pour des futures restaurations.

La durée maximale du port est de 12 mois. Une résine polymère possédant de hautes performances, utilisée par le système Everest, permet la confection de chape et d'armature de bridge jusqu'à 6 éléments. Cette résine polymère, renforcée en fibres de verre, est caractérisée par une grande résistance mécanique, ainsi qu'une faible solubilité dans un milieu aqueux.

- **Les avantages de ces résines :**

- Grand confort au port grâce à une légèreté.
- Faible solubilisation du matériau.
- Fabrication aisée, permettent de les utiliser en cas de plan de traitement complexes nécessitant une temporisation. Mais l'usinage de ces résines est trop long par rapport aux techniques classiques (47)

## **X - Les indications de la CFAO :**

L'utilisation de la technologie CFAO dans le cabinet dentaire ou le laboratoire peut avoir semblé comme science-fiction il y'a 20 ans, mais aujourd'hui, il est réalité. Nous avons maintenant la possibilité de créer des inlays, onlays, facettes, couronnes, prothèses partielles fixes, piliers implantaires, et reconstruction de toute la bouche en utilisant la CFAO (48)

### **X.1 - En prothèse :**

#### **X.1.1 - La prothèse conjointe :**

Jusqu'à récemment, la plupart des applications dentaires de CFAO ont été limitées à la fabrication des coiffes pour remplacer les procédés de moulage dans les laboratoires. Toutes les autres applications fauteuil étaient là pour fabriquer les incrustations inlays, onlays et une couronne postérieure unique. Avec l'avènement de matériaux de meilleure qualité et multicouches, les demandes de CFAO dentaire ont évolué dans des indications antérieures et presque dans tout type de restauration.

On note cinq grandes indications dans ce domaine :

- Inlays/onlays
- Facettes
- Couronnes
- Bridges

Ainsi Les restaurations antérieures représentent un grand défi thérapeutique pour les cliniciens et les prothésistes. Des restaurations provisoires durables peuvent être utilisées pour tester un nouveau projet esthétique de restauration et améliorer la prévisibilité des restaurations définitives. La CFAO est également utilisée pour réaliser ces restaurations provisoires. (36)

#### **X.1.1.1 - Inlay onlay :**

##### **Inlays, onlays et esthétique :**

Pour des questions de résistance mécanique, ils étaient réalisés systématiquement en métal. Avec l'essor des nouveaux matériaux et des nouvelles techniques de CFAO directe, on peut maintenant fabriquer des inlays et des onlays blancs très esthétiques, en résine composite ou en céramique, qui reproduisent de façon exacte la teinte de vos dents, et ce au cours d'une séance unique.

La résistance mécanique des inlays et des onlays est bien meilleure que celle des amalgames et des résines réalisées directement en bouche. Ils durent plus longtemps et évitent la réalisation de couronne dentaire, qui délabre fortement la dent et qui coûte plus cher.

### Technique de réalisation :

Déroulement : La dent est préparée en nettoyant la carie et/ou en déposant l'ancien matériau défectueux, et en taillant une cavité qui accueillera :

- l'inlay lorsque la cavité se trouve à l'intérieur des parois de la dent
- l'onlay lorsque la cavité englobe une ou plusieurs parois.

Une empreinte optique est ensuite réalisée à l'aide de la caméra. Le morceau manquant est conçu virtuellement par le logiciel de conception, puis usiné dans un bloc de céramique de teinte appropriée. Il va ainsi s'insérer parfaitement dans la cavité comme une pièce de puzzle.

L'inlay céramique est posé et collé dans la cavité de la dent. Contrairement aux obturations classiques, les inlays/onlays n'exercent pas de pressions sur les parois restantes (risque de fracture).

L'adhésion chimique aux parois consolide l'ensemble et assure une meilleure étanchéité s'opposant à toute infiltration bactérienne.

L'inlay va donc consolider la dent grâce au collage. Il va permettre de protéger le nerf et de garder la dent vivante, en respectant sa biologie (64)

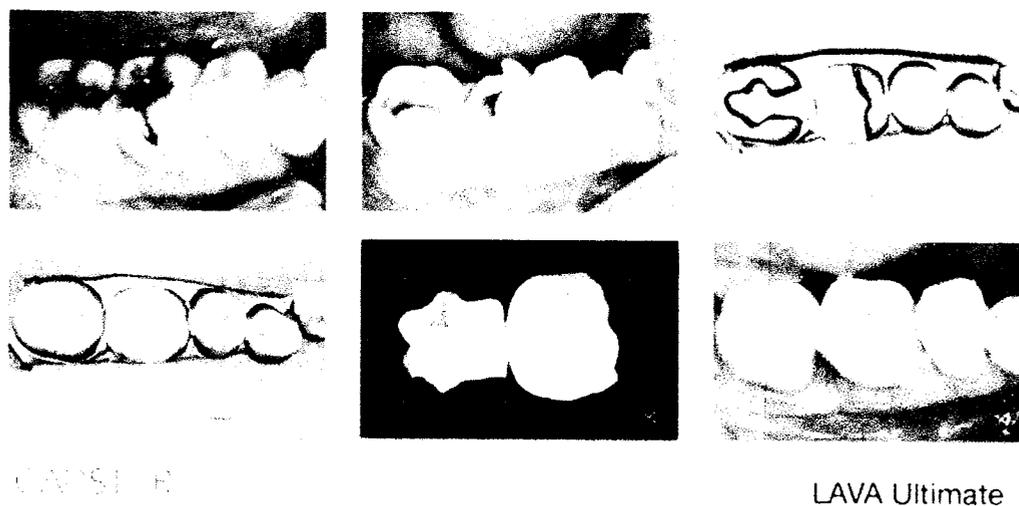


Fig. 38 : Onlay en céramique avec la CFAO (109)

### X.1.1.2 - Les facettes :

Les facettes céramiques (veneers dans la terminologie anglophone) permettent d'obtenir une esthétique hors pair avec un guidage de la lumière à travers la céramique qu'il est impossible de distinguer de celle des tissus dentaires naturels tout en ménageant au maximum la substance dentaire naturelle.

L'utilisation de la technologie CFAO pour concevoir une restauration dans le cabinet dentaire est plus efficace du temps et peut-être plus prédictible. En outre, la résistance à la fatigue et à la traction des matériaux de CFAO ont été montrée pour être excellent. (49)

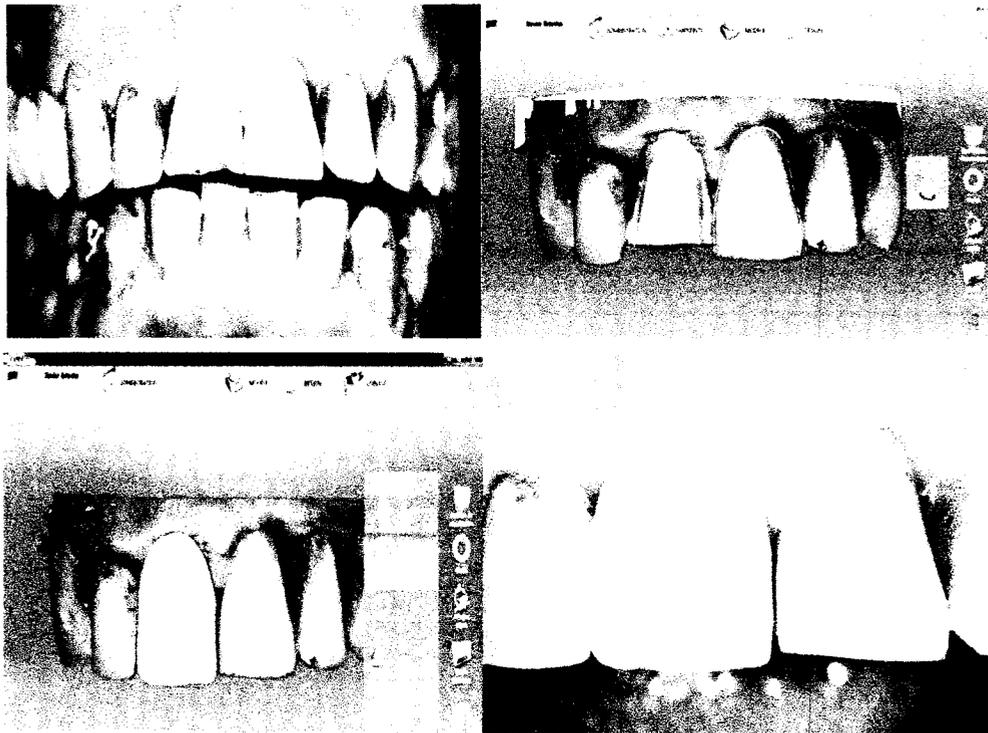


Fig. 39 : Le protocole esthétique en CFAO : Les facettes céramiques (50)

### X.1.1.3 – Couronnes :

Les couronnes en céramique peuvent être automatiquement fabriquées sans travail manuel en utilisant le procédé CFAO. En outre, les procédures de finitions classiques telles que la coloration, et les vitrages sont disponibles en raison des mêmes matériaux de base en porcelaine comme un bloc de céramique de verre pour le fraisage. (51)

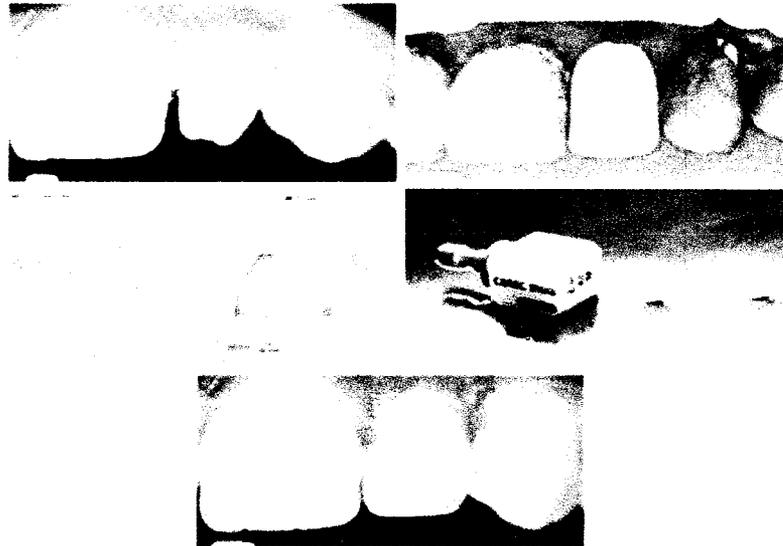


Fig. 40 : Couronne sur 22 réalisé par CFAO (66)

#### X.1.1.4 - Les Bridges :

Le bridge est un élément de prothèse fixée plurale permettant de compenser la perte d'une ou plusieurs dents il s'agit d'un dispositif fixé sur des éléments dentaires ou implantaire dont les constituants sont :

Les moyens d'ancrages, éléments coronaires fixés sur les dents naturelles ou les implants.

Les intermédiaires qui se substituent aux dents manquantes et qui déterminent mécaniquement la travée (ou poutre) de la pièce prothétique.

Les connexions soudées ou coulées, qui sont les zones de jonction entre les différents éléments (ancrages et intermédiaires).

Armature de bridge Cela concerne un bridge dont la couche structurale est soit en métal, soit en céramique (zircone le plus souvent), et est recouverte par une céramique cosmétique (feldspathique ou enrichie en disilicate de lithium)

L'armature est fabriquée par ordinateur, la couche superficielle esthétique est montée traditionnellement par le prothésiste dans un deuxième temps. La céramique superficielle est à éviter en cas de para fonction ne pouvant être prévenue par le port nocturne d'une gouttière de relaxation musculaire.



**Fig. 41 : Bridge réalisé par CFAO (65)**

**A- Vue initiale de la zone d'édentement**

**B- Les dents sont préparées vivantes avec une technique de réduction adaptée à l'usinage et calibrée à une prothèse céramo-céramique.**

**C- Image scannée des préparations sur le moulage**

**D- Modélisation des chapes individuelles.**

**E- Conception virtuelle du bridge**

**F- Fabrication par FAO d'une armature de bridge en zircone**

**G- Essayage clinique de l'ajustage de l'armature**

**H- Stratification de l'armature.**

**I- Assemblage du bridge.**

### **X.1.2 - la prothèse adjointe :**

On peut distinguer deux types de prothèse adjointe :

- la prothèse adjointe partielle
- la prothèse adjointe totale

#### **X.1.1.1 - La prothèse adjointe partielle :**

Les premières machines utilisées en CFAO dentaire travaillent par soustraction rendant ainsi inepte toute idée d'accéder à la réalisation par ordinateur. Cependant, un logiciel d'aide à la conception des prothèses adjointes partielles était présent sur le marché depuis 1990, il s'agit du STELLIGRAPHE.

C'est un logiciel d'aide à la conception et au diagnostic en prothèse adjointe partielle. Il permet au praticien d'obtenir le tracé de la prothèse quel que soit le cas considéré, en faisant recours aux plusieurs méthodologies. Pour cela, le logiciel réalise l'analyse clinique de l'arcade affichée ; en se basant sur cette analyse, il sélectionne, dans la base de données, les éléments en fonction de la méthodologie clinique choisie, sans oublier que les devis sont automatiquement fournis facilitant ainsi la communication patient-praticien.

Avec l'apparition des techniques de fabrication additive, la réalisation d'un châssis métallique est devenue possible grâce au système Digistell

En prothèse partielle amovible, sur les modèles scannés, la CAO réalise des châssis virtuels. Ceux ci peuvent être matérialisés par des procédés de FAO additive (stéréolithographie). Des maquettes en matière calcinable (cire-résine) sont confectionnées, puis coulées selon les procédés de fonderie conventionnels

Le système d'usinage permet aussi d'usiner des blocs de résines calcinables ou de métal. Cette méthode (soustractive) est très peu répandue. (53)



Fig. 42 : Réalisation d'une prothèse partielle métallique (CFAO) (52)

#### X.1.1.2 - La prothèse adjointe totale :

C'est le secteur pauvre de la CFAO, il y a peu, voire pas de recherche dans ce domaine à cause de :

Une problématique surtout au niveau du positionnement des dents sur la résine

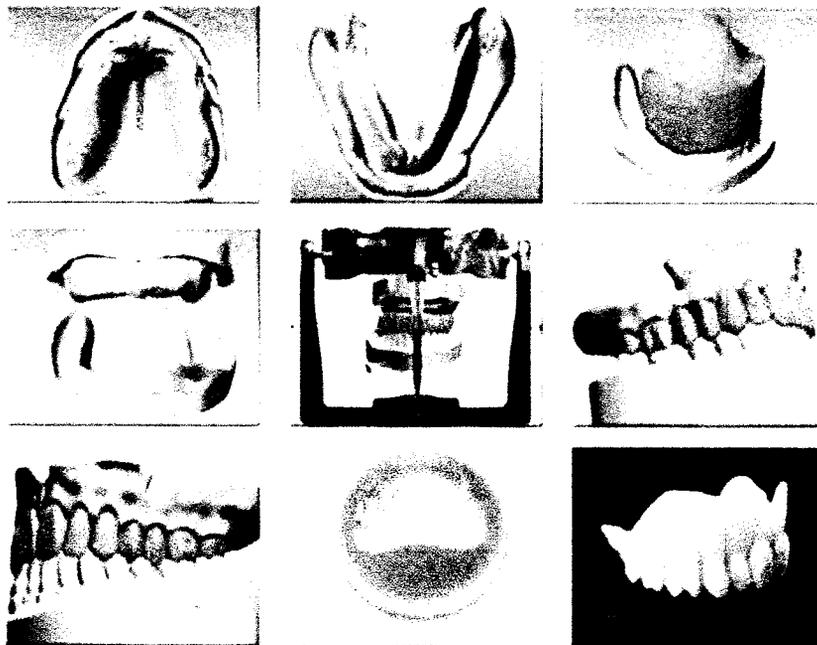
Le coût de revient des appareils réalisés par CFAO serait encore trop important, comparé aux prix de vente des appareils aux patients.

L'empreinte conventionnelle reste incontournable du fait de l'enregistrement de la dépressibilité des tissus et des limites de la future prothèse par des matériaux de différentes viscosités. Le côté innovant apparaît au stade de fabrication de la base résine. Celle-ci est usinée dans un bloc de résine rose, et le logement des talons des dents du commerce y est aménagé. Au préalable l'arrangement des dents se fait au

sein du logiciel en piochant dans la bibliothèque de dents (le montage virtuel des dents maxillaires, puis mandibulaires), afin de trouver la forme la plus adaptée

La gestion de l'occlusion devient essentielle dès lors que les reconstructions sont de grande étendue. Les logiciels ont dû rapidement intégrer en leur sein des outils d'analyse des contacts inter arcade et trouver des solutions pour les reproduire lorsqu'ils font défaut.

Récemment, la technologie CFAO est devenue disponible dans le commerce pour la fabrication de prothèses complètes grâce à l'introduction de prothèses numériques AvaDent™ par Science dentaire mondial, LLC. Il est un système par lequel les impressions, les dossiers inter occlusaux, et la sélection de la dent peut être complété en une séance. Les prothèses sont alors fabriquées en utilisant CFAO technologie et placés dans le deuxième rendez-vous. (53)



**Fig. 43** : Les nouvelles étapes de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) pour l'élaboration de nos PAC (63)

Au laboratoire, les modèles secondaires sont numérisés ainsi que les bases d'occlusion ayant permis l'enregistrement des rapports maxillo-mandibulaires. Ces dernières sont ensuite alignées avec le gabarit de positionnement. L'info prothésiste marque alors virtuellement sur le modèle numérisé : les tubérosités, le point médian papillaire, et les canines issues du recueil des informations transmises par le praticien. Les limites périphériques de la future prothèse d'usage maxillaire sont marquées et modélisées.

Le positionnement des dents se fait automatiquement, les rapports d'occlusion nécessitent certains ajustements tant au niveau des volumes qu'au niveau des engrènements. La modélisation des intrados est contrôlée. Un essayage est alors réalisé au cabinet à l'aide de pièces imprimées afin de valider l'ensemble des étapes. Puis les dents et la base prothétique sont usinées indépendamment. La base résine est usinée dans le cas présent à l'aide d'une Willemin Macodel, usineuse 5 axes simultanés. Une fois les pièces usinées nous procédons à leur assemblage, avant insertion en bouche (63)

## **X.2 - En implantologie :**

La conception assistée par ordinateur en implantologie a été introduite des les années 1990 pour la fabrication des implants. Elle a ensuite été employée pour la planification clinique (diagnostic et plans de traitements) avec la simulation virtuelle du positionnement chirurgical précis des implants et celui de la réhabilitation prothétique associée.

La technologie CFAO simplifie tous les aspects du traitement implantaire de la planification du traitement à la restauration. Et son utilisation en prothèse implantaire (sellée ou vissée) permet de concevoir et ou de fabriquer des éléments prothétiques tels que des piliers ainsi que des armatures unitaires ou pleurales

La fabrication des systèmes d'attachements et des structures implantaires par CFAO utilise de nombreux types de matériaux (alliages de titane, céramique d'oxyde d'alumine ou d'oxyde de zirconium) avec une fiabilité et une pérennité clinique importante

Plusieurs types de systèmes d'implants dentaires, avec ou sans attachements, conçus par CFAO sont disponibles (Procera®, Atlantis®, Encode®, CAM StructURE®, Cares®, Biocad®)

### **X.2.1 - La chirurgie assistée par ordinateur :**

La chirurgie guidée par ordinateur offre un placement parfait des implants en respectant au maximum la corticale vestibulaire et le montage directeur prothétique. Grâce à la conversion des images numériques en 3D, ce concept permet une mise en place immédiate d'une prothèse implanto-portée, élaborée avant la mise en place des implants.

Ces guides ne nécessitent pas des impressions à envoyer à une tierce partie et peuvent être faites plutôt moins chère dans le cabinet en environ 30 minutes. Le guide peut ensuite être utilisé en conjonction avec des clefs de forage spécifiques, qui sont compatibles avec les ensembles de forage de chirurgie guidée de tous les fabricants connue des implants.

La dentisterie implantaire CFAO connecter les avantages du diagnostic 3D optimal et la planification basée sur les logiciels en transférant avec précision les positions des implants virtuels à des sites chirurgicaux dans la bouche du patient. Le

transfert précis de la planification de l'implant est important pour les approches de la chirurgie sans lambeau (flaplesse) pour préparer la prothèse avant la chirurgie pour mise en charge immédiate, afin de réduire le risque de blesser les structures anatomiques critiques et d'éliminer les erreurs de placement manuel. (54)

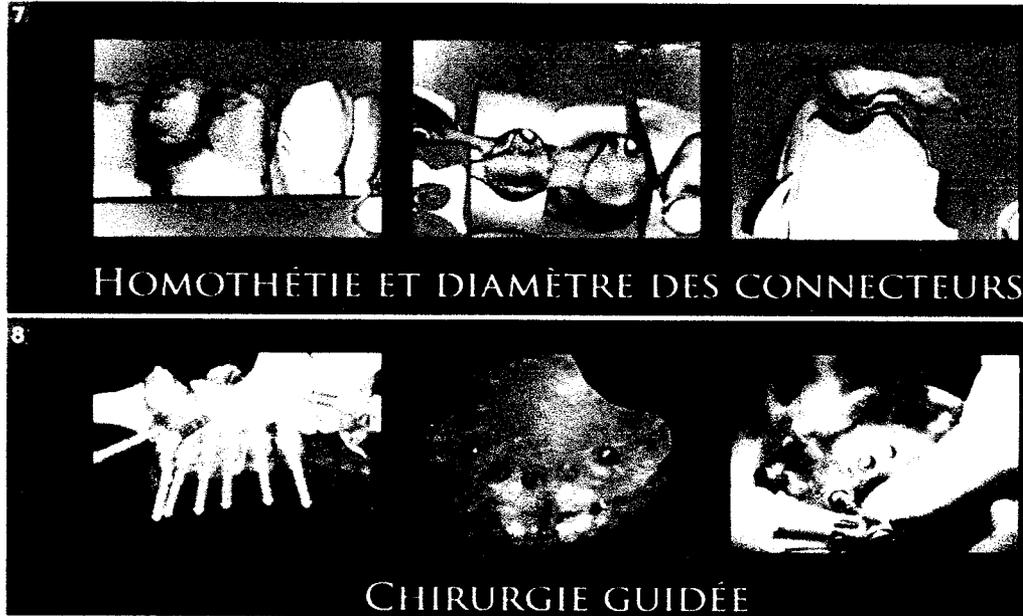


Fig. 44 : La chirurgie guidée (46)



Fig. 45 : Guide chirurgicale stéréolithographique réalisé par CFAO placé en bouche (55)

### X.2.2 - Pilier implantaire :



**Fig. 46** : Pilier implantaire (110)

Un pilier implantaire fournit un support pour la couronne (ou plusieurs couronnes à savoir un bridge). Il est également l'interface entre la couronne et l'implant.

L'un des développements est des applications de la CFAO est de produire des piliers d'implants et des cadres en métal ou en céramiques.

Un contour extérieur correct du pilier d'implant fournira un dégagement pour le matériau de restauration qui est nécessaire pour atteindre l'esthétique idéale et la durabilité de la restauration les piliers implantaire CFAO combinent la plupart des avantages des piliers classiques et des piliers sur mesure. En plus d'un ajustement prévisible et la durabilité, tous les paramètres de la prothèse sont modifiables, y compris le profil d'émergence, l'épaisseur, l'emplacement de la ligne d'arrivée, et le contour externe. (56)

### X.3 - En ODF :

Le développement des nouvelles technologies dans la numérisation de l'image et des programmes numériques a permis l'émergence de systèmes basés sur une configuration numérique idéal comme référence pour le positionnement des barquettes avec une précision remarquable en éliminant les étapes de laboratoire et, par conséquent, les risques d'erreurs en eux.

En balayant les modèles de malocclusion (CFAO) et la capture d'images par le logiciel, une configuration numérique virtuel idéal est construit à partir des données de la planification orthodontique). Il y a la possibilité pour l'orthodontiste pour vérifier la configuration virtuelle, ou construire son / sa propre configuration s'il / elle préfère.

La CFAO est utilisée comme un outil de diagnostic orthodontique et de traitement, en particulier grâce la planification par CAO. Cependant, une grande rigueur s'impose dans l'établissement du plan de traitement et dans sa mise en oeuvre. (58)

La numérisation 3D des modèles offre la possibilité de présenter sur écran d'ordinateur les images virtuelles du set-up, la fabrication des brackets et arcs individualisés, et facilite le collage indirect.

De même, les avancées récentes de l'informatique ont permis la conception de gouttières occlusales et de gouttières pour le positionnement intermaxillaire après la chirurgie orthognathique.

Cette technologie est utilisée aussi dans l'orthodontie invisible et dans la conception de certaines orthèses ou systèmes de gouttières de correction orthodontique, dits communément « aligneurs » du type Invisalign®. Cependant, elle n'a pas été utilisée avec succès sur une grande échelle pour les appareils orthodontiques amovibles.

La CFAO garantit également le confort de travail pour le praticien accompagné d'un confort supplémentaire pour le patient, surtout en terme de volume occupé par le matériel orthodontique.

L'apport de la CFAO à l'orthodontie est surtout « visible » en technique linguale.

L'orthodontie linguale moderne ne se définit pas uniquement par le transfert d'une attache orthodontique vers la face interne des dents. Elle fait appel à un système de haute technologie utilisant la conception et la fabrication assistées par ordinateur (CFAO) (58)

### **X.3.1- Dispositif orthodontique lingual réalisé par CFAO :**

La conception de systèmes d'attaches orthodontiques (brackets) individualisés et d'arcs personnalisés à partir d'une empreinte personnelle de haute précision constitue le principe de base. Des systèmes individuels de traitement orthodontique, efficaces pour des traitements plus courts et des déplacements dentaires plus précis, sont ainsi conçus.

La procédure commence par la réalisation d'un set-up de fin de traitement simulant le résultat thérapeutique final à partir d'une empreinte initiale réalisée avec un matériau dentaire de haute précision. Sur ce set-up, les surfaces linguales dentaires sont numérisées avec un scanner optique de haute résolution pour donner un set-up 3D. Cette étape CAO permet de concevoir, à l'aide d'un logiciel de dessin assisté par ordinateur, selon le traitement des brackets adaptés en forme et en position idéale sur les surfaces dentaires.

Dans un second temps de FAO, une imprimante à cire fabrique les maquettes en cire des brackets qui seront ensuite coulées par le processus de la cire fondue en or. La forme des arcs morphologiques se fait à l'aide d'un robot qui plie avec précision différents types de fils (SS, TMA, CoCr, NiTi) à partir des données numériques selon la position des brackets (hauteur et épaisseur) transférées au préalable sur un modèle reproduisant la situation clinique initiale.

Plusieurs systèmes sont proposés en orthodontie par ce type de procédés (Incognito® de 3M, Lingualjet® de Baron et Gualano, Harmony® de Curiel).

### X.3.2 - Plusieurs systèmes d'orthodontie impliquant la CFAO :

#### X.3.2.1 - Le système Orthocad :

Ce système de visualisation des moulages numériques provient des Etats-Unis. Il aide l'orthodontiste dans le placement des brackets sur les modèles numérique puis permet de créer un guide de positionnement qui ressemble à un dispositif d'alignement avec des places pour les brackets. (58)

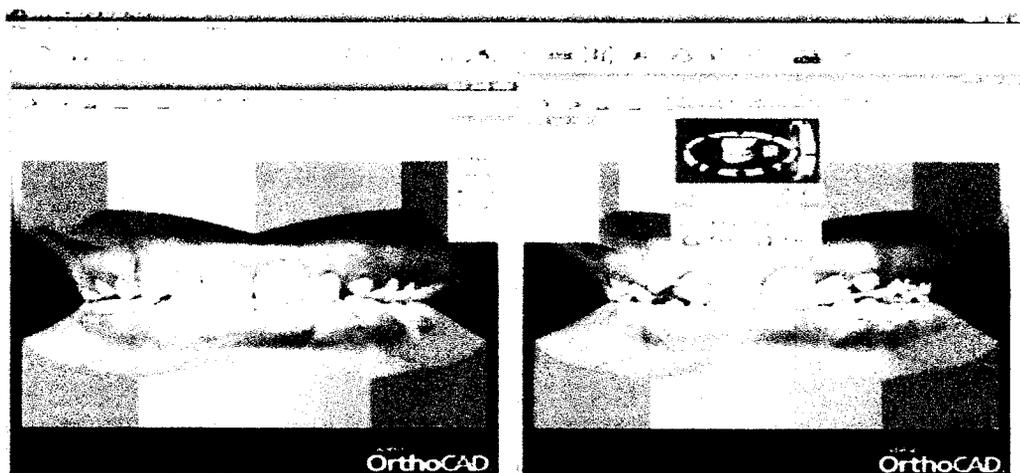


Fig. 47 : Le système Orthocad® (60)

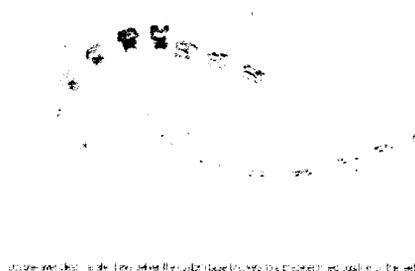


Fig. 48 : Gouttier de transfert obtenue par Orthocad® (111)

#### X.3.2.2 - Le système Invisalign® :

C'est un système d'orthodontie invisible par gouttière (aligneurs), y associe l'informatique et la FAO, combinées avec des techniques de laboratoire pour fabriquer une série de gouttières transparentes et esthétiques, qui permettent le déplacement dentaire du début à la fin.

Invisalign®, se sert d'un logiciel CAO (ClinCheck®), qui à partir du modèle du travail virtuel de l'arcade dentaire permet la réalisation de set-ups, qui représentent toutes les étapes de traitement de la position initiale des dents, jusqu'à leur position final (59)

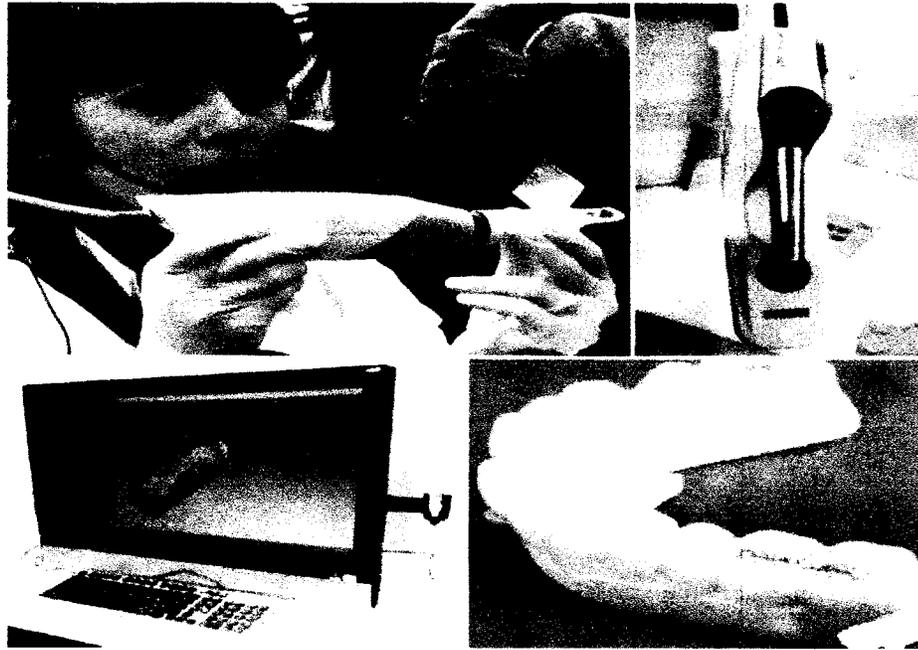


Fig. 49 : Gouttière Invisalign sur modèle par impression 3D disponible a partir d'un scan d'arcade complète avec l'Omnicaam (25)

### X.3.2.3 - Le système Incognito® :

Ce système exceptionnel a révolutionné l'orthodontie linguale depuis sa création en 2004, il permet la fabrication d'arcs et de brackets sur mesure en lingual.

Les principales caractéristiques de ce système sont :

Au niveau des attaches, une conception sur mesure pour chaque dent grâce à une procédure de conception et de fabrication assistées par ordinateur (CFAO). Ces attaches anatomiques d'une finesse extrême permettent une adaptation significativement plus rapide des patients.

Au niveau des fils, la mise en forme robotisée va permettre la fabrication de fils précis, de différentes sections et de divers alliages, adaptés à chaque situation clinique.

Au niveau de la mécanique, des résultats optimisés sont obtenus grâce à la réalisation systématique d'un set-up et à l'utilisation de dispositifs adaptés à chaque type de malocclusion.

Ces systèmes et d'autres existent déjà sur le marché (Orapix®, Insigna®, etc.) et des nouveaux viennent d'y prendre place (SIB System, etc.) permettant ainsi de plus en plus d'efficacité, de précision et de confort. (58)

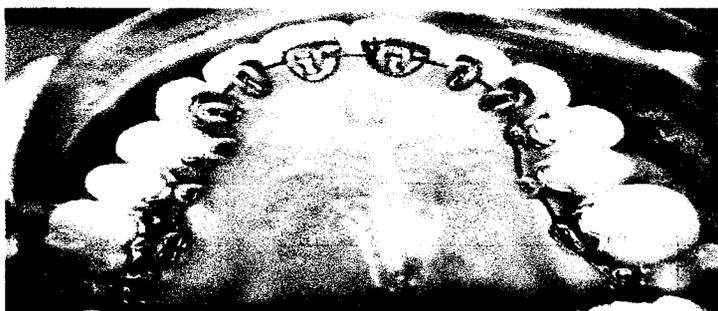


Fig. 50 : Dispositif orthodontique lingual réalisé par CFAO (38)

#### X.4 - En occlusodontie (un simulateur occlusal virtuel) :

Actuellement, l'absence de simulation cinétique lors de l'enregistrement des RIM en CAO limite les possibilités. Néanmoins, des travaux laissent entrevoir des améliorations dans les années à venir.

C'est le cas par exemple du logiciel DentalWings proposé aux laboratoires.

Il s'agit d'un logiciel permettant de mettre en relation les modèles grâce à un articulateur virtuel.

Le logiciel dispose d'une base de données avec différents articulateurs réels, le prothésiste sélectionne celui avec lequel il travaille habituellement. Les modèles stéréolithographiques d'arcades complètes sont mis en articulateur de la même manière que pour un enregistrement classique. Puis le modèle maxillaire est désolidarisé et positionné dans l'unité d'acquisition numérique sur le socle de scannage qui l'immobilise et l'oriente. L'acquisition est réalisée sur l'ensemble de l'arcade, ce qui permet au logiciel de positionner l'arcade supérieure par rapport au socle de scannage qui représente la branche supérieure de l'articulateur virtuel. Le modèle mandibulaire est scanné de la même manière. La numérisation permet ainsi d'obtenir les arcades positionnées par rapport à leurs branches d'articulateur respectives. (61)

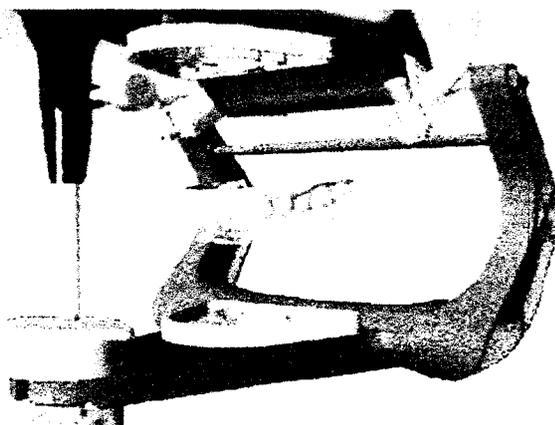


Fig. 51 : Articulateur virtuel (61)

L'articulateur virtuel doit maintenant être paramétré. Deux possibilités : soit on rentre des valeurs standards ; soit l'angle de Bennett et la pente condylienne sont réglés en fonction du patient.

Cette méthode reste limitée car elle nécessite au préalable qu'un premier montage réel est été effectué. De plus la précision du logiciel reste à améliorer. Pour le moment, il y a donc plus de risque d'augmenter les erreurs en ajoutant des étapes pour la mise en relation des modèles de manière virtuelle. Néanmoins, cette évolution montre l'intérêt des laboratoires à se développer dans ce sens. (61)

## XI - Conclusion :

La CFAO dentaire a mis 40 ans pour devenir incontournable en odontologie. La dentisterie du 21<sup>e</sup> siècle se dirige vers une demande esthétique, une biocompatibilité des matériaux et des restaurations de moins en moins mutilantes, la CFAO permet aussi de s'affranchir de nombreuses contraintes rencontrées en prothèse conventionnelle dès l'empreinte qui devient optique jusqu'à l'élaboration de la restauration.

Au cours de ce travail Nous avons pu définir ce que c'est que la CFAO dentaire dans ces contextes historique ainsi que le fonctionnement des différents systèmes d'empreintes optiques ainsi que leurs présentations et le principe général du fonctionnement de cette technique, de la prise d'empreinte, conception et puis fabrication des pièces prothétiques ainsi que l'utilisation de matériaux à la pointe des avancées technologiques actuelles mais également d'utiliser des matériaux traditionnels dont l'industrialisation a permis d'améliorer de manière très significative les propriétés mécaniques.

La CFAO est une révolution qu'il faudra intégrer dans la vie quotidienne des cabinets dentaires, cependant les bénéfices retirés sont importants : gain en prestige, qualité de résultats, confort pour le patient, modernisation de son activité clinique, utilisation d'une technologie dite «propre», facilement archivable et sans perte d'information.

Toutefois Il existe un grand nombre de facteurs pouvant freiner le chirurgien-dentiste à franchir le pas du «tout numérique». Cela va impliquer un changement des habitudes, une formation du personnel, un investissement lourd à l'achat ainsi que des coûts de fonctionnement et de maintenances élevés.

Cette technologie en Algérie est encore inconnue Pour la majorité des dentistes ou bien pas encore connu son succès dans les cabinets dentaires et les laboratoires.

. Pour le moment, la fabrication des pièces prothétiques se fait manuellement par les prothésistes.

Mais cette technologie a progressivement commencé à entrer sur les marchés Et la Commercialisation est en pleine expansion, il est prévu à ce qu'il soit connu et disponible et être utilisé de plus en plus Dans les prochaines années.

## Références bibliographiques

- 1 - **DURET F.** La CFAO dentaire 1991.6 ans après la première présentation au congrès de l'ADF de 1985. Actualités odonto-stomatologiques 1991 ; n°175: pp 431-454.
- 2 - **DURET F.** 2003 .Historique du CAD/CAM, Technologie dentaire. pp5-14.
- 3 - **FAGES M, GIBERT P, MARGERIT J et VALCARCEL J.** 2011. La CFAO, Le praticien et l'enseignement à l'UFR de Montpellier. Fil Dent 2011;63. pp28-31.
- 4 - **DURET F., DURET B., PELISSIER B,** 2007. CFAO, une histoire vécue, le temps des pionniers, Information Dentaire, Septembre 2007, N°29, Vol 89.
- 5 - **DURET F.** 2010. CFAO Réal. Clin. 2009 ; vol. 20 n° 4 pp 213-214.
- 6 - **UNGER F.** 2003. La CFAO dentaire. Stratégie prothétique 2003 ;3 (5) pp 327-341.
- 7 - **DURET F.** La prothèse de demain sera CFAO ou. Clinic 31(3):128-133.
- 8 - **DURET F et PELISSIER B.** 2003. Les différentes méthodes de prise d'empreinte optiques pour la CFAO. Stratégie Prothétique 2003 ; 3(5) pp 343-49.
- 9 - **ATTAL JP. TIRLET G.** 2009. La CFAO appliquée à l'odontologie restauratrice et à la prothèse Réal. Clin. 2009 ; vol. 20 n°4 p. 215.
- 10 - **JAISSON M.** 2013. CFAO : les différents domaines de l'art dentaire touchés par l'innovation CAD/CAM 2013 ; Vol. 3 n°2 pp 26-2.
- 11 - **JOULLIE K., JULIA M., NEGREL D., BERTRANF F.** 2011. Prothèses en CFAO, Strat. Proth., Mars/ Avr. 2011, 11(2) pp 97-106.
- 12 - **Sirona Dental Systems.** 2015. L'empreinte numérique passe par le CEREC Connect [www.sirona.fr](http://www.sirona.fr).
- 13 - **FREDRICKSON B.** 2013. Digital Dentistry: Is It Right for Your Practice? Inside Dentistry August 2013, Volume 9, Issue 8.

**14- Ender A, Mehl A.2013.**Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. Int J Comput Dent 2013 ; 16 (1) pp 11-21.

**15- HAS. 2007.** Prothèses dentaires à infrastructure céramique.

**16- Bindl A, Mörmann WH.2004.**Survival rate of monoceramic and cera-mic-core CAD/CAM-generated anterior crowns over 2-5 years. Eur J Oral Sci2004 ; 112 (2) pp 197-204.

**17-LOGOZZO S., FRANCESCHINI G., KILPELA A., CAPONI M., GOVERNI L., BLOIS L.2011.**A Comparative Analysis of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. The Internet J of Medical Technology. 2011; vol. 5 n° 1.

**18- ISMAEL-DAOUDJEE Hassen.2009.**La CFAO en odontostomatologie : conséquences sur la pratique et la formation en 2009. Thèse de doctorat, Bordeaux : Université Bordeaux II – Victor Segalen, 2009.

**19- Dr M.HAMLAOUI. 2010.** Traitement des empreintes au laboratoire en prothèse conjointe le 22 mai 2010.

[http://fr.slideshare.net/AbdeldjalilGadra/traitement-des-empreintes-au-laboratoire-en-prothse-conjointe-final-copie?next\\_slideshow=1](http://fr.slideshare.net/AbdeldjalilGadra/traitement-des-empreintes-au-laboratoire-en-prothse-conjointe-final-copie?next_slideshow=1)

**20- ANDERSSON M, RAZZOG M, ODEN A.1998.**Procera: a new way to achieve an all ceramic crown. Quintessence Int 1998;29.pp285-296.

**21- BERTAUD V., CHAUMEIL B., EHRMANN E., FAGES M., VALCARCEL J.2013** L'informatisation du cabinet dentaire Paris : Springer-Verlag, 2013 ; pp 397-406.

**22- Ivoclar vivadent. 2002** ProCAD Scientific documentation : June 2002 : 21p.

**23- UFR d'odontologie Paris Descartes et Toulouse 2012 .** Place de la CFAO directe dans la dentisterie moderne. Clinic Expérience 2012.

**24- LE GAC O, ARMAND S, SIREIX C.2008.** Empreintes optiques et CFAO. Clinic Ergo.

**25- CNIFDP.2007.** Centre national d'innovation et de formation des prothésistes dentaires, Le guide de la CFAO dentaire.

[www.cnifdp.fr](http://www.cnifdp.fr)

**26- FAGES M, BENNASAR B, RAYNAL J et coll.2011.**L'empreinte optique intra-buccale en pratique quotidienne. Stratégie Prothétique 2011;11(2).pp 107-119.

**27- CADENT iTero 2016 .Présentation de iTero® Element™**

<http://www.cadent.biz/itero/itero.php?section=professional>

**28- DUMINIL G, ALLARD Y et ANDRÉ J.2011.** Caméra de prise d'empreinte l'heure du choix ? Inf Dent 2011;93(40/41).pp45-59.

**29-Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A et coll.2011.**A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. Int J Med Technol 2011;5(1) pp1-8.

**30- FAGES, M. BENNASAR, B. RAYNAL, J. LANDWERLIN, O. MARGERI, J. 2009.** L'empreinte optique intra-buccale en pratique quotidienne. Stratégie prothétique, 2011 marsavril, vol 11, n°2, p.107-119.

**31- RAYNAL, J. 2005.** Journal du Club Francophone d'Applications Ondotologiques en Cad Cam. CFAO CADCAM. 2005.  
<http://www.cfao-cadcam.net>

**32- LALET, P. 2010.** Quand le bio générique envahit le programme. Dentoscope 67, juin 2010, p.12-18.

**33- BENNASAR B, FAGES M, MARGERIT J.2009.**La CFAO pour la réalisation des maquettes de fonderie en prothèse fixée. Les cahiers de prothèse N° 146, Juin 2009.pp 23-31.

**34- BLONDEELS.** Bridge zircone : du scannage à la stratification. Technologie dentaire, N°263, 10/08 : p 28-38.

**35- BERTAUD V., CHAUMEIL B., EHRMANN E., FAGES M., VALCARCEL J.2013** L'informatisation du cabinet dentaire Paris : Springer-Verlag, 2013 ; pp 397-406.

**36- WITKOWSKI S, LANGE R.2003.** Application de la stéréolithographie dans la technique dentaire. Rev Mens Suisse Odontostomatol2003 août ;113.pp 879-84.

**37 - Solène Marniquet, Jean-Pierre Attal, Laurent Tapie, Hélène FronChabouis.2014.**Les matériaux usinables en dentisterie restauratrice et en prothèse fixée.

**38- CHOTARD Karine 2013 .**Critères de choix des matériaux à utiliser dans le cadre d'une réhabilitation conjointe en cfao thèse de CHOTARD Karine Le 25 Juin 2013 IPSe-max rapport scientifique ivoclar vivadent vol 1 2001-2011.

**39- VAURE François.2003.**Conception et fabrication de prothèses conjointes assistées par ordinateur - 224p Th. : chirurgie dentaire : Toulouse : 2006 : n° 2006-TOU3-3046.

**40- G. GREGOIRE, B. GROSGOGEAT, P. MILLET ET PH. ROCHER.2010.** Alliages dentaires.pp 1-29.

**41- C.Leyens and M.Peters; 2003.**Titanium and titanium alloys fundamentals and applications. pp455.

**42- Pierre COMPAIN 2010.** Comportement des matériaux prothétiques dentaires en solution saline - approche expérimentale.

**43- J. M. Poujade, C. Zerbib, D. Serre.2004.** Céramiques dentaires. J EMC. Dentisterie, 1.pp 101-117.

**44- Arvin dShenoy and Nina Shenoy<sup>1</sup>J Conserv.2010.**Dent. 2010. Dental ceramics: An update.Oct-Dec 2010; 13(4).pp 195–203.

**45- COUDRAY L, TIRLET G, ATTAL JP.2009.**Les matériaux accessibles par CFAO. Réalités cliniques, vol 20, N°4, 2009. pp 251-255.

**46- Dr. Karim NASR. Dr. Olivier CHABRERON . Dr. Bertrand ARCAUTE .2015.** Choix des blocs en CFAO directe en fonction de la situation esthétique dans le secteur antérieur Le 27 mai 2015.  
<http://www.lefildentaire.com>

**47- DEJO J, PELISSIER B.2010.**Les céramiques Société francophone de biomatériaux dentaires. Matériaux, clinique et CFAO dentaire. ClinicPratic.

**48- Gary Davidowitz, DDSa,b,\* , Philip G. Kotick, DDSb,c.2011.** The Use of CAD/CAM in Dentistry.

**49- Dean-JPDAUG. 2011 .**Single visit fabrication of a porcelain laminate veneer with CAD/CAM technology: A clinical report Dean Vafiadis 2010.  
[http://www.aestheticadvantage.com/pdf/Dr\\_Dean\\_JPDAUG2011.pdf](http://www.aestheticadvantage.com/pdf/Dr_Dean_JPDAUG2011.pdf)

**50- Dentoscope.2014.** Le protocole esthétique en Cfao cas clinique  
<http://dento-reseau.com/blog/le-protocole-esthetique-en-cfac>

**51- T Miyazaki,\* Y Hotta.2011.**CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations.

**52- Robin levet .2014 .**Réalisation/Inlays-core/Armature de bridge/Micro-fusion/Système 3Shape publié le 4 août. 2014  
<https://robinlevet.wordpress.com/tag/cad>

**53- AKA G.K, KOUAKOU R.K., DJEMO B.R, 2006.**Réhabilitation faciale par les prothèses maxillo-faciales au cours des tumeurs bénignes de la mandibule Odonto-Stomatol 2006.

**54- ALTER D.2014.**CAD/CAM Technology in Implant Abutment Design Inside Dental Technology April 2014, Vol 5, Issue 4.

**55- MARCHACK CB., CHARLES A., PETTERSSON A.2011.**A single appointment protocol to create a partially edentulous CAD/CAM guided surgical template: a clinical report. J. of Prosth. Dent. Dec. 2011.

**56- Jaafar Abduo and Karl Lyons.2013.**Rationale for the Use of CAD/CAM Technology in Implant Prosthodontics. International Journal of Dentistry Volume 2013 (2013), Article ID 768121, 8 pages.

**57- Carla Maria MelleiroGimenez.2011.**Digital technologies and CAD/CAM systems applied to lingual orthodontics: The future is already a reality.  
<http://www.scielo.br/scielo>

**58- AL MORTADI N., EGGBEER D., LEWIS J., WILLIAMS R.J.2012.**CAD/CAM applications in the manufacture of dental appliances Am J OrthodDentofacOrthop Nov. 2012.

**59- AMORIC M.2007.**L'après "Invisalign".RevOrthopDentoFaciale 2007; 4.pp 181-186.

**60- OrthoCADIQ .**Orthodontic Digital Treatment Planning System from Align Technology, Inc.

<http://www.dentalcompare.com/5026-Orthodontic-Digital-Treatment-Planning-Systems/39367-OrthoCAD-iQ>

**61- LAPLANCHE, O. DUMINIL, G. 2011.** L'articulateur virtuel demain C'est tout de suite. L'information dentaire, novembre 2011, n°40/41, p. 63-72.

**62- Dr. Olivier LANDWERLIN .2014.** CFAO Dentaire et empreinte optique : les caméras au banc d'essai Le 4 décembre 2014

<http://www.lefildentaire.com>

**63- Dr. Arnaud SOENEN, Christophe SIREIX et Mathieu CONTREPOISLe 1 décembre. 2015.** Prothèse Amovible Complète et CFAO : apport des logiciels dans la modélisation et la conception"

[www.lefildentaire.com](http://www.lefildentaire.com)

**64- Cabinet Dentaire La Passerelle Clermont-Ferrandle.2009 .** Les inlays et les onlays en technique CFAO directe le 15/12/2009.

<http://selarl-cabinet-dentaire-la-passerelle.chirurgiens-dentistes.fr/Les-inlays-et-les-onlays-en-technique-CFAO->

**65- Gérard DUMINIL .2015.** Bridge 3 elements par CFAO indirecte Le 10/02/2015

<http://www.information-dentaire.fr/011033-116-Bridge-3-elements-par-CFAO-indirecte-1.html>

**66- Dr. Max CORDELETTE.2015.**Les matériaux usinables en CFAO.

<http://www.lefildentaire.com>

**67- A Pierre ; G Derrien. 2002.** Couronne cérame métallique. 23-230-C-10.

**68- JRP Jorge ; VA Barao ; JA Delben ; LP Faverani ; TP Queiroz ; WG Assuncao. 2013.** Titanium in Dentistry: Historical Development, State of the Art and Future Perspectives. 13(2).pp 71–77.

**69- S Gosavi ; S Gosavi ; R Alla.2013.** Titanium: A Miracle Metal in Dentistry. 27(1).pp 42-46.

**70- ADA COUNCIL ON SCIENTIFIC AFFAIRS 2003.**Titanium applications in dentistry.Volume 134, Issue 3.Pp 347–349.

**71- C.Leyens; M.Peters .2003.** Titanium and titanium alloys fundamentals and applications.pp 455.

**72- Carl E. Misch .2008.** Contemporary Implant Dentistry.pp 222.

**73- C Karine.2013.** Critères de choix des matériaux à utiliser dans le cadre d'une réhabilitation conjointe en cfao.

**74- Osman, R.B.; Swain.2015.** M.V. A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia. *Materials* 2015, 8, 932-958.

**75-Burdairon G.1990.** Abréger de biomatériaux dentaire paris : Masson.

**76- P COMPAIN.2010.** Comportement des matériaux prothétiques dentaires en solution saline - approche expérimentale.

**77- JM CHEYLAN ; C ARCHIEN.2005.** Biocompatibilité des métaux, alliages et céramiques dentaires. réalités cliniques Vol. 16 n° 2.pp 169-186.

78- **J FOUCAULT.2012.** Le titane en prothèse adjoint analyse critique de la littérature.

79- **Poujade JM, Zerbib C, Serre D.2003.** Céramiques dentaires. Encyclopédie Médico-Chirurgicale ; Odontologie ;2003, 23-065-G-10.

80- **J Dejou .2010.**les céramique dentaire.pp 1-27.

81- **RD PALA. 2013.** les facettes céramiques collées : protocole clinique.

82- **R. Narasimha Raghavan.2012.** Ceramics in Dentistry. 978-953-51-0017-1, InTech.pp 203-223.

83- **J. M. Poujade, C. Zerbib, D. Serre.2004.** Céramiques dentaires. J EMC. Dentisterie, 1.pp 101-117.

84- **O Etienne.2015.** Les facettes en céramique.

85- **B KLAINÉ.2013.** La fabrication assistée par ordinateur en prothèse.

86- **BUSSON B.2002.** Céramique biocompatible de l'avenir : la zircone. Technologie dentaire, N°192.pp 17-22.

87- **ZÉBOULON S, RIHON P, SUTTOR D.2004.**Le système Lava. Stratégie prothétique, Février 2004, vol 4, N°1.pp 7-15.

88- **COUDRAY L, TIRLET G, ATTAL JP.2009.** Les matériaux accessibles par CFAO. Réalités cliniques, vol 20, N°4.pp 251-255.

89- **GOURRIER Y, BONGERT P, LEPAGE K.2003.** Le système DCS Précident. Stratégie prothétique, Février 2003, 4 (1).pp 17-25.

90- **LABORDE G.2005.** Zircone et CFAO : quels changements au laboratoire et au cabinet ? .Information dentaire, N°9 Novembre 2005.pp 2477.

91- **LEBRAS A.2003.** Quelle zircone pour quelle prothèse dentaire ? Stratégie prothétique 2003, 3 (5).pp 351-361.

**92- MOUREAU T, BOUHY A, RAEPSAET N, VANHEUSDEN A.2006.**Classification des céramiques selon la nature chimique et le procédé de mise en œuvre.Revue Belge Med. Dent. Tome 61, N°1, Mars 2006 .pp 17-29.

**93- THIRY M.2004.**Le système Cercon Stratégie prothétique, vol 4, N°1, Février 2004.pp 27-36.

**94- UNGER F.2006.**Innovation zircone et CFAO. Concept cliniques, ed. SNPMD, Paris.

**95- UNGER F.2008.**La CFAO en question. Le fil dentaire, N°33, Mai 2008.pp 16-18.

**96- KJC Vögtlin.2012.** Processus de travail numérique avec le Lava Chairside Oral Scanner C. O. S. et la technique Lava. Rev Mens Suisse Odontostomatol Vol. 122.pp 316-324.

**97- [www.sirona.com](http://www.sirona.com) (accès juin 2016)**

**98- [www.itero.com](http://www.itero.com) (accès juin 2016)**

**99- [www.henryschein.be](http://www.henryschein.be) (accès juin 2016)**

**100- [www.3schape.com](http://www.3schape.com) (accès juin 2016)**

**101- [www.e4d.com](http://www.e4d.com) (accès juin 2016)**

**102- <http://www.hintels.com/en/index.php> (accès juin 2016)**

**103- [www.dentalaxs.com](http://www.dentalaxs.com) (accès juin 2016)**

**104- [www.ios3d.com](http://www.ios3d.com) (accès juin 2016)**

**105-S BONJOUR.2012.** L'enregistrement des relations intermaxillaires : des techniques classiques aux nouvelles approches par cfao. application a differents cas cliniques.

**106- <http://envisiointec.com/> (accès juin 2016)**

107- <http://www.dentalwings.com/fr/> (accès juin 2016)

108- **FRON H, COUDRAY L, ATTAL JP.2007.** CFAO Céramiques lesquelles choisir. Information Dentaire. 2007 sept 5;(29).pp 1693-1698

109- **Jennifer P.2014.** Inlays, Onlays, and Crowns, Oh My! Techniques for Preserving Tooth Structure.

<http://www.bitedowndeals.com/blog/dental-procedures/inlays-onlays-crowns-tooth-structure/>

110- **J Rohde.2014.** Case Study: Chairside CAD/CAM Implant Abutments in the Anterior Region.

<http://www.dentalcompare.com/Featured-Articles/161086-Case-Study-Chairside-CAD-CAM-Implant-Abutments-in-the-Anterior-Region/>

111- **S Huge; P Gange; M Mayhew.2015.** Indirect Bonding 2.0.

<http://www.orthopracticeus.com/laboratory/indirect-bonding-2-0>

## ANNEXES

## Listes des abréviations

CFAO	Conception et fabrication assisté par ordinateur.
ODF	Orthopédie dentofacial.
CAD-CAM	Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing.
FAO	Fabrication assisté par ordinateur.
CAO	Conception assisté par ordinateur.
DICOM	Digital Imagine and Communication in Medicine.
STL	Stéréolithographie.
FGP	Functionally Generated path.
OIM	Occlusion en inter-cuspidation maximale.
HIP	Hot isostatic pressing.
TZP	Tetragonal zirconia polycrystal.
IDS	International dental show.

## LISTE DES FIGURES

Fig. 1	Comparatif entre les différentes méthodes de CFAO (directe, semi-directe et indirecte) et la méthode classique.	P.9
Fig. 2	Principe schématique de la CFAO.	P.9
Fig. 3	Types des empreintes numériques.	P.10
Fig. 4	Scanner Procera®	P.11
Fig. 5	Diagramme schématique des méthodes optiques	P.12
Fig. 6	Poudrage de l'arcade dentaire par la poudre de TiO <sub>2</sub>	P.13
Fig. 7	Modèle en plâtre obtenu par technique traditionnelle(A) converti en modèle numérique	P.15
Fig. 8	Caméra Cerec Bluecam ®	P.17
Fig. 9	Cerec Omnicam	P.18
Fig. 10	Empreinte couleur par l'Omnicam	P.18
Fig. 11	Apollo DI	P.19
Fig. 12	System iTero	P.19
Fig. 13	Système Lava C.O.S.	P.20
Fig. 14	Caméra Trios	P.20
Fig. 15	Empreinte couleur avec Trios	P.21
Fig. 16	E4D système	P.21
Fig. 17	Système Direct Scan	P.22
Fig. 18	Système Cyrtina	P.22
Fig. 19	Système IOS FastScan	P.23
Fig. 20	Photographie de la préparation, sur modèle en plâtre et Préparation avec mordru en silicone sur modèle en plâtre	P.24
Fig. 21	(A) Observations des trois clichés, (B) L'opérateur superpose le cliché en OIM à l'une des deux arcades, (C) L'opérateur superpose les clichés, (D) Le logiciel affine la superposition.	P.26
Fig. 22	Observation des points d'occlusion virtuels	P.26
Fig. 23	la définition de la limite cervicale	P.28
Fig. 24	La couronne proposée par le logiciel et leur placement selon les points repère de l'occlusion et la limite cervical qui ce fait automatiquement par le logiciel	P.28
Fig. 25	Zones rouges signifiant des futurs <i>contacts</i> prématurés	P.29
Fig. 26	Principe de la fabrication assistée par ordinateur	P.29
Fig. 27	Unité d'usinage MC-XL SIRONA.	P.31
Fig. 28	Fraisage de la pièce prothétique avec le travail simultané des deux fraises sous irrigation d'eau	P.31
Fig. 29	Exemple de production de modèle en cire et machine D76+ de Solidshape	P.33
Fig. 30	Exemple de production de modèle en résine calcinable et machine Projet DP3000 de 3D systèmes	P.34

Fig. 31	Exemple de production sur Perfactory DDP	P.35
Fig. 32	Frittage par laser	P.36
Fig. 33	Kit de maquillage et de glassure.	P.38
Fig. 34	Four a cuisson IVOCLAR VIVADENT P500	P.38
Fig. 35	Schéma représentant l'ensemble des matériaux usinables par	P.39
Fig. 36	Les propriétés mécaniques des biomatériaux dentaires	P.40
Fig. 37	Les différents type de céramique avantage et inconvénients	P.53
Fig. 38	Onlay en céramique avec la CFAO	P.56
Fig. 39	Le protocole esthétique en CFAO : Les facettes céramiques	P.57
Fig. 40	Couronne sur 22 réalisé par CFAO	P.58
Fig. 41	Bridge <i>réalisé</i> par CFAO	P.59
Fig. 42	Réalisation d'une prothèse partielle métallique	P.60
Fig. 43	Les nouvelles étapes de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) pour l'élaboration de nos PAC	P.61
Fig. 44	La chirurgie guidée	P.63
Fig. 45	Guide chirurgicale stéréolithographique réalisé par CFAO placé en bouche	P.63
Fig. 46	Pilier implantaire	P.64
Fig. 47	Le système Orthocad®	P.66
Fig. 48	Gouttier de transfert obtenue par Orthocad®	P.66
Fig. 49	Gouttière Invisalign sur modèle par impression 3D disponible a partir d'un scan d'arcade complète avec l'Omnica	P.67
Fig. 50	Dispositif orthodontique lingual réalisé par CFAO	P.68
Fig. 51	Articulateur virtuel	P.68

## Listes des tableaux

<b>Tableau 1</b>	Classification des céramiques dentaires.	<b>P.46</b>
<b>Tableau 2</b>	Comparaison entre les propriétés mécaniques du céramique et les autres tissus dentaire.	<b>P.48</b>