

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB - BLIDA 1 -

N°

Faculté de Médecine



Département de Médecine Dentaire



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Docteur en
Médecine dentaire**

Thème :

LA CFAO EN PROTHESE DENTAIRE

Présenté et soutenu publiquement le :

30/06/2022

Par :

**- BERDAOUI AMINA
- HAMIDOUCHE HATEM
- KHEDIM KHADIDJA**

**- LOUZRI ABDERRAHMANE
- MERINE FARIDA
- SERRAH MOHAMED AMINE**

Promoteur : DR S.B.H AYAD

Devant le jury composé de :

- Présidente : DR A.BOUARFA

- Examinatrice : DR F.MESSAOUDENE

Année Universitaire : 2021-2022

REMERCIEMENT

*Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

Avant d'aborder le vif du sujet, nous tenons à remercier vivement :

*Monsieur **AYAD Bilal** pour tout le soutien et l'encadrement qu'il nous donné*

Veillez recevoir ici les plus sincères remerciements

*Le corps enseignants administratif de la faculté de médecine **BLIDA***

Nous adressons le grand remerciement à messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger notre soutenance :

*A docteur **DR.BOUARFA** président du jury*

Nous vous remercions de l'honneur et plaisir d'accepter la présidence du jury de ce mémoire pour vos compétence, vos enseignement, veuillez trouver ici le témoignage de notre reconnaissance, gratitude et notre profond respect.

*A docteur **DR.MESSAOUDENE** membre de jury*

Nous vous remercier de l'honneur de participer au jury de ce mémoire, nous avons apprécié vos connaissances

et votre collaboration, veuillez trouver ici l'expression de notre gratitude.

Nous tenons un grand remerciement à

*Docteur **BOUCHELLAL Abdnnour** et*

*Madame **BOUCHELLAL Nour El imene***

Merci docteurs, d'avoir ouvert votre cabinet pour nous sachions de près ce qui est lié à notre mémoire et pour enrichir nos idées et nos connaissances. Merci de ne pas nous lésiner sur les informations...merci.

Dédicace

*Je remercie tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin lors de la réalisation
de ce travail de recherche*

*Mon directeur de recherche docteur **Ayad** qui m'a guidé et m'a conseillé
Tous mes enseignants universitaires*

Les membres de jury qui ont accepté d'examiner ce mémoire

Je dédie ce travail

A mes parents qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière universitaire

*A mes frères **Oussama, Mahdjoub, Fares et Taha***

*A mes neveux **Sid Ali et Aissa***

*A tous mes amis surtout docteur **Boukhari** et docteur **Baghdadi***

*A la personne qui est loin de mes yeux mais se trouve toujours au fond de mon
cœur*

A ma chère tante qui nous a quitté le 29 mai 2022 « Paix à son âme »

Hamidouche Hatem ..

Je dédie ce travail

A mes parents qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière universitaire

*A mes frères **adil ; abd el basset ;hodaifa iyad***

*A mes sœurs **romaissa ; nesrin hibat errahmane***

*A toutes ma familles **rabeh smail , ayoub, djamel ,younes** et les autres*

*A tous mes amis spécifiquement **youcef ,sofiane, moumen, boubaker, brahim
hakim, masoud, aymen, rahim, imad ,oussama ,taher ,hichem ,riadh** et les
autre ..*

A tout personne me connaitre

Serrah mohamed amine ..

*Je dédie ce travail qui a été réalisé après une longue bataille J'ai menée, J'ai lutté grâce à Dieu d'abord, Et grâce à son aide j'ai réalisé ce miracle aujourd'hui, Et aussi mon cher frère **Adel** et son soutien inconditionnel, mes parents et surtout ma mère, la fleur de ma vie. A Mes amis qui sont comme des frères **hatem hamidouche** et **walid raïs** et **mohamed hanouni** Sans oublier mon maître et ami el imam **kerbouci mohamed** .*

Louzri abderrahmane..

Tout d'abord je remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

*J'avais envie d'adresser mes sincères remerciements à ceux qui ont contribué à l'élaboration de mon mémoire , je tiens tout particulièrement à remercier monsieur **AYADE** pour son aide et son encouragement aussi à mes collègues **AMINA** , **KHADIDJA** ,**HATIME**, **ABD RAHMEN ET AMINE** pour leurs coopérations dans la réalisation de ce travail*

*Je tiens remercier spécialement mes chers parent, mon papa **DR MEROUNE** ma fierté ma mère **DELLAOUI KHADIDJA** ma chérie merci mes bijoux.*

*Un grand merci aussi à ma moitié ma petite sœur **Wafa**, mes chers frères **LAMINE** et **ISMAIL***

*Allons remercier mes intimes dans mon parcours universitaire **RANDA** et **NIHED** (je vous souhaite le succès et la continuation)*

Je passe à remercier mon mari pour son soutien et sa patience avec moi merci mon homme

MERINE Farida..

Je dédie ce travail :

Parce que si je suis là, c'est bien grâce à vous !

A mes chers parents,

Qui n'ont jamais cessé de croire à moi, de m'encourager et de me redonner confiance. Quoique je dise je ne saurai point vous remercier comme il se doit, sans vous je ne saurai être ce que je suis aujourd'hui. Ma réussite n'est plus que le fruit de votre soutien et tous vos sacrifices. J'espère aujourd'hui, vous rendre fiers.

Que ce travail produit ma gratitude et mon affection et tout mon amour.

Parce que j'en ai qu'une !

A ma source de vie ma fille,

Je ferai tout pour concourir à ton bonheur et rendre chacun des jours de ta vie encore meilleurs.

Parce qu'un rêve peut ce vivre à deux !

A mon cher mari,

Notre rencontre improbable a changé le sens de ma vie depuis l'instant. Tu as toujours su m'accompagner, me conseiller avec tact, dissiper mes doutes et angoisses dans les moments difficiles. Merci pour ton soutien ainsi que ton amour. Le meilleur reste à venir, je te le promets...

Et parce que je suis chanceuse !

A mes chères 2 sœurs, mon cher frère / A ma belle belle-famille / A mes chers amis, et surtout à ma chère belle-mère,

Vous m'aviez accueillie les bras ouverts dans la famille. Merci pour vos soutiens, vos conseils et tous les bons et simples moments de bonheur partagés ensembles...

Je vous exprime ma plus profonde gratitude en vous dédiant ce travail.

Khadija Khedim

Louange au bon dieu (Allah) qui m'a donné la force, le courage, la patience et surtout la santé pour continuer mes études.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont chers :

A ma très chère défunte mère

Ma maman, ma meilleure amie, mon bonheur. Comment pourrai-je commencer sans te remercier....

Tu t'es toujours battue à mes côtés, toujours présente pour me consoler quand il fallait. Ton soutien, ton amour, ta présence, la fierté dans tes yeux sont la clé de ma réussite.

Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain.

Tu seras toujours mon rayon d'espoir.

A mon père *quia donné tous ce qu'il peut pour me voir femme aujourd'hui et chirurgien-dentiste.*

A mes et sœurs et leurs enfants

Je vous aime si fort, merci d'être là pour moi, merci pour votre soutien durant ces années d'études.

A mes frères, leurs enfants et toute ma famille

ADr Ayoune, DrBoutahraoui, Dr Sebbache,Dr Mesmous

Je vs remercier pour votre générosité, votre professionnalisme, votre disponibilité

A mes amis Djazia, khadidja, Bouchra, Amira, Amir

A mes collègues, Hamidouche, Khedim, Merine, Louzri, Serrah

BERDAOUI AMINA

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Inlay/onlay dentaire en céramique

Figure 2 : Inlay-core ou faux moignon

Figure 3 : Facette dentaire en céramique

Figure 4 : couronne dentaire métallique en or

Figure 5 : CIV couronnes à incrustation vestibulaire

Figure 6 : couronnes céramocétalliques et couronnes céramocéramiques

Figure 7 : les composants d'un implant

Figure 8 : le Système Hennson (1986).

Figure 9 : la prise d'empreinte CFAO en 1987

Figure 10 : un exemple de système disparu : le cadcam de Ritter

Figure 11 : Cerec 3 en 2005

Figure 12 : GN1 de GC en 2003

Figure 13 : le Cercon de Dégussa en 2002

Figure 14 : frise chronologique de la CFAO

Figure 15 : le développement de la CFAO dans laboratoires dentaires

Figure 16 : l'image représente les différents dispositifs de la CFAO article KREOS DENTAL page 1

Figure 17 : l'ensemble des matériaux utilisés par la CFAO

Figure18 : l'image représente la résine biocompatible

Figure 19 : l'image représente la résine calcinable

Figure 20 : l'image représente la résine

LISTE DES FIGURES

Figure 21 : bloc de vitrocéramique enrichi en zircon

Figure 22 : Plot de céramique feldspathique pour l'usinage avec vue en transparence de la future Prothèse

Figure 23 : La céramique infiltrée de polymère (PICN)

Figure 24 : Plots de vitrocéramique pour l'usinage

Figure 25 : Empreintes conventionnelles (service médecine dentaire/HCA).

Figure 26 : exemple de scanner de table

Figure 27 : cône-beam

Figure 28 : Prise d'empreinte avec le LavaCos

Figure 29 : Unité d'acquisition

Figure 30 : caméra intrabuccale

Figure 31 : modélisation d'un inlay

Figure 32 : l'unité d'acquisition reste disponible

Figure 33 : L'unité d'usinage

Figure 34 : fraises diamantées spécifiques

Figure 35 : la machine Spécifiques

Figure 36 : Schéma récapitulatif du trajet lumineux

Figure 37 : Triangulation en lumière structurée

Figure 38 : Principe du moiré optique en odontologie

Figure 39 : scanner extra orale

Figure 40 : La chaîne numérique en IAO : Chirurgie implantaire

Figure 41 : La chaîne numérique en IAO : Prothèse implanto-portée.

Figure 42 : Modèle virtuel d'une arcade mandibulaire présentant un édentement unitaire.

Figure 43 : Modèle virtuel d'une arcade maxillaire présentant une 27 devant être extraite.

Figure 44 : Extraction virtuelle de la 27.

LISTE DES FIGURES

Figure 45 : Wax-up numérique d'une 36.

Figure 46 : Planification implantaire en site de 36 guidée par le wax-up numérique. Les données issues de l'empreinte optique ont été superposées aux données issues du CBCT.

Figure.47 : Modélisation d'un guide chirurgical

Figure 48 : Guide chirurgical usiné dans un bloc de PMMA

Figure 49 : Guides chirurgicaux réalisés par impression 3D. Courtesy Dr. Bertrand DINAHET

Figure 50 : Empreinte optique réalisée juste après la mise en place de l'implant.

Figure 51 : Enregistrement du profil d'émergence créé par une couronne provisoire en site de 11.

Figure 52 : Enregistrement du collet physiologique de 11.

Figure 53 : Enregistrement du profil d'émergence

Figure 54 : Enregistrement du collet physiologique

Figure 55 : Les constituants d'une couronne trans-vissée.

Figure 56 : Les constituants d'une couronne trans-vissée

Figure 57 : La modélisation d'une couronne à deux étages

Figure 58 : Comblement du fût de vissage

Figure 59 : Résultat final.

Figure 60 : représentation pyramidale des informations qui composent l'image

Figure 61 : logiciel de conception ouvert, 3shap

Figure 62 : Schéma d'une fraise

LISTE DES FIGURES

Figure 63 : exemple d'un parcours d'usinage généré avec le logiciel de FAO WorkNC

Figure 64 : exemple de mouvement 5 axes sur la machine Evrest de Kavo

Figure 65 : Unité d'usinage Astra pour piliers Atlantis en titane en Suède

Figure 66 : Principe de l'impression 3D

Figure 67 : exemple de production de modèle en cire

Figure 68 : exemple de production de modèle en résine calicinaire.

Figure 69 : Principe du frittage sélectif par laser

Figure 70 : Principe de la stéréolithographie

Figure 71 : exemple de production sur perfactory DDP

Figure 72 : Résumé en graphique des technologies de la CFAO dentaire

Figure 73 : le flux numérique en CFAO directe directe (2)

Figure 74 : Système Cerec complet ; usineuse MCXL, caméra omnica, unité informatique (4)

Figure 75 : le flux numérique en semi CFAO directe (2)

Figure 76 : le flux numérique en CFAO indirecte (2)

Figure 77 : Scanners de table (9)

Figure 78 : porte empreinte ClearView SCAN/R de S-Ray (5)

Figure 79 : prototype iTray de Medentec : porte-empreinte optique d'arcade complète (26)

Figure 80 : Usineuse laser : Lasermill de Dental Wings (24)

Figure 81 : Système Jaw Motion Analyser de Zebris (30)

LISTE DES ABREVIATIONS :

ADAPEI : association départementale de parents et amis de personnes handicapées mentales

ADF : Association dentaire française

ARS : Agence Régionale de Santé

CAD-CAM: Computer Assisted Design – Computer Assisted Manufacturing.

CAO : Conception assistée par ordinateur.

CBCT : Cone Beam Computed Tomography

CEREC : Chairside Economical Restoraion Of Esthetic Ceramic (restauration économique au fauteuil de la céramique esthétique.

CFAO : Conception et fabrication assistées par ordinateur.

CoCr : cobalt chrome

DLP: Direct Light Project

FAO : Fabrication assistée par ordinateur.

FDM: Fabrication Direct Métal

IAO : implantologie assisté par ordinateur

IDS : Intrusion Détection System (système de détection d'intrusion).

Kavo : propose unités de soins, fauteuil, lampes scialytique dentaire, systèmes dentaire multimédia et d'autres accessoires pour unité de soins.

L'IDS : International Dental Show

MPU : Modèle positif unitaire

PROCERA : système la société Nobel biocare élaboré par Andersson et Odén en 1993 va permettre la fabrication déliement en titan ou céramique (alumine ou zircon) unitaires ou plurales que seront posés sur dents naturelles ou sur implants.

SLS : Selective Laser Sintering (le frittage sélectif par laser)

SSA : Sealing Socket Abutment

STL : stéréolithographie

Liste Des Abréviations

TZP : Tetragonal Zirconia Polycrystal (Y-TZP----cette forme de tétragonale a la capacité de mieux résister aux zones de tension de stress).

Vita : c'est une carte de forme et de guide des couleurs pour améliorer les traitements.

XML : extensible Markup Language\$

CC : Couronne Coulée

CIV : Couronne à Instruction Vestibulaire

CCC : Couronne Céramo_céramique

CCM : Couronne Céramo_Métalique

PMMA : poly méthacrylate de méthyle

TABLE DE MATIERES

Table de matière	
Introduction	17
Chapitre I : Rappel de la prothèse fixée	
1. Rappel de la prothèse fixée.....	19
1.1 Définition	19
1.2 Les différents types de la prothèse fixée.....	19
1.2.1 L'inlay/onlay	19
1.2.2 L'inlay-core	19
1.2.3 Les facettes	20
1.2.4 Les couronnes	21
1.2.4.1 couronnes coulées.....	22
1.2.4.2 couronnes mixtes	22
1.2.4.2.1 Les Couronnes à Instruction Vestibulaire(CIV).....	23
1.2.4.2.2 Les Couronnes à Céramo Métalliques (CCM)	23
1.2.4.2.3 Les Couronnes Céramo Céramiques (CCC)	23
1.2.5 Les bridges.....	25
1.3 Les implants.....	26
Chapitre II : Bases fondamentales de la CFAO	
1 . Historique	28
2 . Les composants.....	36
2.1 Le système de mesure	36
2.2 Un système CAO, de traitement et conception.....	36
2.3 Un système de réalisation matérielle.....	37
3 . Définition.....	38
3.1 Indication	39

TABLE DE MATIERES

3.2 Les différents matériaux utilisés	40
3.2.1 La résine	41
3.2.2 Le métal.....	42
3.2.3 Le CoCr	42
3.2.4 Le titane	42
3.2.5 La céramique	42
3.2.5.1 La céramique polycristalline	43
3.2.5.2 La céramique feldspatique	44
3.2.5.3 La céramique infiltrée	45
3.2.5.4 La vétocéramique	46
Chapitre III : Protocole numérique de la chaine CFAO	
1 . Définition.....	48
1.1 Empreinte.....	48
1.1.1 Empreinte coventionnelle	48
1.2 La Conception Assistée par Ordinateur	53
1.3 La Fabrication Assistée par Ordinateur	53
2. Les composant de la CFAO.....	54
3. Protocole numérique de la chaine de la CFAO... ..	56
3.1 Principe de l’empreinte optique... ..	56
3.2 Méthode d’enregistrement des empreintes optiques.....	57
3.2.1 La triangulation en lumière structurée.....	58
3.2.2 La méthode indirecte en lumière active ou focalisée.....	59
3.3 Avantages et inconvénients... ..	60
3.4 L’acquisition des données	61
4. Implantologie Assistée par Ordinateur (IAO).....	62
4.1 Empreinte optique et planification prothétique.....	64

TABLE DE MATIERES

4.2 Radiologie 3D et planification implantaire.....	65
4.3 Réalisation d'un guide chirurgicale.....	66
4.4 Chirurgie implantaire.....	67
4.5 Empreinte optique de l'implant.....	68
4.6 Modélisation de la restauration implanto-portée... ..	69
4.7 Réalisation de l'élément supra-implantaire... ..	70
4.8 Mise en place et finitions	72
5. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)	73
5.1 Phase de traitement des données	73
5.2 Phase de modélisation ou conception.....	74
6. La Fabrication Assistée par Ordinateur	76
6.1 Procèdes soustractifs à partir d'un bloc de matériaux... ..	77
6.2 Procèdes additifs sur un répliques de moignon.....	80
6.3 Procèdes additifs de fromage libre par strates	80
6.3.1 L'impression 3D	81
6.3.2 Procèdes par injection de cire.....	82
6.3.3 Procèdes par injection de résine et polymérisation par ultraviolets... ..	83
6.3.4 Le frittage sélectif par laser ou fabrication directe métal (FDM)	84
6.3.5 La stéréolithographie (STL)	85
Chapitre IV : La chaine numériques de la CFAO	
1 . Les manières possibles de traiter l'information de l'empreinte.....	89
1.1 CFAO directe.....	89
1.1.1 Protocole clinique en CFAO directe.....	92
1.2 la CFAO semi directe.....	93
1.3 La CFAO indirecte... ..	94
2. Les innovations attendues	97

TABLE DE MATIERES

2.1 Détection des tissus durs sous-gingivaux	97
2.2 Port-empreinte optique d'arcade complète.....	99
2.3 Usineuse laser	100
2.4 Articulateur virtuel	101
2.5 Télédentisterie... ..	103
Conclusion.....	106
Bibliographie.....	108

INTRODUCTION

La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) est une discipline de plus en plus présente dans notre pratique qui nous semble si nouvelle et moderne, date pourtant de plus de 40 ans dans notre domaine , avec la thèse de François Duret en 1974 appelée « l’empreinte optique » qui a réalisé en 1985 , la première couronne par CFAO au congé de l’ADF (Association Dentaire Française) .

La prothèse unitaire fixée seule ou sur implant est le domaine dans lequel la prise d’empreinte et l’usinage restent les plus utilisés, deux choses qu’aujourd’hui l’avènement du numérique a considérablement modifié leur étapes.

Par l’élaboration de ce mémoire, nous voulons contribuer à une meilleure compréhension de l’apport de la CFAO en prothèse dentaire.

Notre mémoire comporte quatre chapitres structurés comme suit :

Un premier chapitre, dont le but est de rappeler brièvement les types de la prothèse unitaire fixée en se focalisant sur les couronnes dentaires.

Au deuxième chapitre, nous passerons en revue par un rappel de CFAO dentaire, sa définition, son historique et les biomatériaux utilisables.

Ainsi, après un rappel sur la CFAO et au troisième chapitre, nous donnerons une description détaillée du protocole de numérisation de la chaînes CFAO dentaire, et le principe de fonctionnements de ces principales équipements.

Quant au quatrième chapitre, il sera consacré, aux différentes chaînes numériques de la CFAO et les innovations Attendues.

Nous terminerons par une conclusion générale qui englobera l'ensemble des travaux effectués.

Chapitre I :

Rappel de la

prothèse fixée

1 Rappel de la prothèse fixée :

1.1 Définition : [18_88]

La prothèse dentaire, ou reconstruction prothétique, est un ensemble des techniques et des moyens destinés à réhabiliter une dentition. Le chirurgien-dentiste propose alors plusieurs solutions prothétiques quand les atteintes sur les dents (caries) sont trop importantes et que les soins dentaires classiques ne sont plus efficaces. La prothèse fixée unitaires peut avoir deux sortes de piliers support : un pilier naturel dentaire ou un pilier artificiel implantaire. Cela est en fonction de l'utilisation comme support de base, d'une racine naturelle ou artificielle (implant).

1.2 Les différents types de prothèse fixée :

1.2.1 L'inlay/onlay : [87]

- L'**inlay** sert à combler une cavité située sur une paroi intérieure.
- L'**onlay** recouvre la dent pour combler une ou plusieurs cavités située(s) sur les pans extérieurs.



Fig 1 : Inlay/onlay dentaire en céramique .

1.2.2 L'inlay-core : [79]

C'est une construction prothétique entièrement coulée en métal permettant la reconstitution d'une perte de substance coronaire ou bien corono-radicaire d'une dent préparée au préalable pour recevoir un élément à recouvrement total, cet inlay-core comprend un tenon radicaire et une reconstitution coronaire métallique.



Fig 2 : Inlay-core ou faux moignon

1.2.3 Les facettes : [86]

Ce sont des artifices prothétiques en céramique ayant uniquement pour but d'améliorer l'esthétique des dents visibles (incisives et canines) disgracieuses. En jouant sur la teinte, la forme, la position et la taille des dents, elles permettent de redonner un bel aspect au sourire, en limitant au maximum la "mutilation" de la dent. Elles sont réservées aux dents vivantes, peu ou pas délabrées, c'est pourquoi elles ne se substituent pas aux couronnes, qui présentent des indications différentes. Dans un premier temps, le Chirurgien-Dentiste élimine à la fraise environ 2 mm de matière sur toute la hauteur de la partie visible de la dent, ce qui correspond à peu près à l'épaisseur de l'émail

inesthétique que l'on souhaite remplacer. Ensuite, il prend une empreinte des dents qu'il adresse à son prothésiste. Ce dernier confectionne alors une facette en céramique, respectant en tous points les exigences esthétiques de la zone concernée. Enfin, le Chirurgien-Dentiste adapte et colle la facette sur la dent préalablement préparée.



Fig 3 : Facette dentaire en céramique.

1.2.4 Les couronnes : [20_55_95]

La prothèse fixée unitaire peut avoir deux sortes de pilier support : un pilier naturel dentaire ou un pilier artificiel implantaire. Cela est fonction de l'utilisation, comme support de base, d'une racine naturelle ou artificielle (implant).

Les couronnes sont des prothèses de type fixées, par opposition à amovible. Ce sont des pièces prothétiques qui vont recouvrir la partie coronaire de la dent pour rétablir la morphologie esthétique et fonctionnelle.

Elles peuvent être unitaires ou plurales (dans le cas de prothèses à pont) et être réalisées sur le tissu dentaire restant après préparation ou sur un faux moignon prothétique métallique ou céramique.

On parle de prothèse fixée car la couronne va être solidarisée à la dent ou au faux-moignon par scellement ou collage (ou vissage dans le cas de prothèse sur implant).

Différents matériaux peuvent être utilisés pour réaliser une couronne, en fonction du matériau utilisé un gradient esthétique va être proposé au patient et par association un gradient économique

1.2.4.1. Couronnes coulées (CC) :

Les moins esthétiques donc les moins onéreuses, elles sont réalisées par coulée d'un alliage semi précieux en fusion. Anciennement on utilisait l'or pour ce type de couronne, aujourd'hui, compte tenu du coût de l'or, un alliage type Nickel Chrome ou Cobalt Chrome sera préféré (dans le cas d'allergie au Nickel).



Fig 4 : couronne dentaire métallique en or.

1.2.4.2. Couronnes mixtes :

Elles associent deux matériaux, un matériau support (alliage ou métal) et un matériau cosmétique esthétique (la céramique), on distingue :

Les Couronnes à Incrustation Vestibulaire (CIV)

Les Couronnes Céramo Métalliques (CCM)

Les Couronnes Céramo Céramiques (CCC)

1.2.4.2.1 Les Couronnes à Incrustation Vestibulaire (CIV) :

Seule la face vestibulaire est recouverte d'une coquille de résine (ancien) ou céramique. Elles sont un compromis esthétique/coût, on les évitera tout de même à la mandibule ou la partie métal seule sera visible.



Fig 5: CIV couronnes à incrustation vestibulaire.

1.2.4.2.2 Les Couronnes Céramo Métalliques (CCM) :

Une chape coulée recouvre entièrement la surface dentaire ou le faux moignon, sur cette chape est rajoutée la céramique cosmétique. La couronne est plus esthétique qu'une CIV car seule une bande métallique linguale/palatine peut- être visible, le reste est cosmétique. Elle est donc plus onéreuse qu'une CIV.

1.2.4.1.3 Les Couronnes Céramo Céramiques (CCC) :

Elles sont entièrement composées de céramique, la chape en céramique très résistante (Zircone le plus souvent) et la partie cosmétique plus esthétique par-dessus. Ce sont les plus esthétiques mais les plus chères.

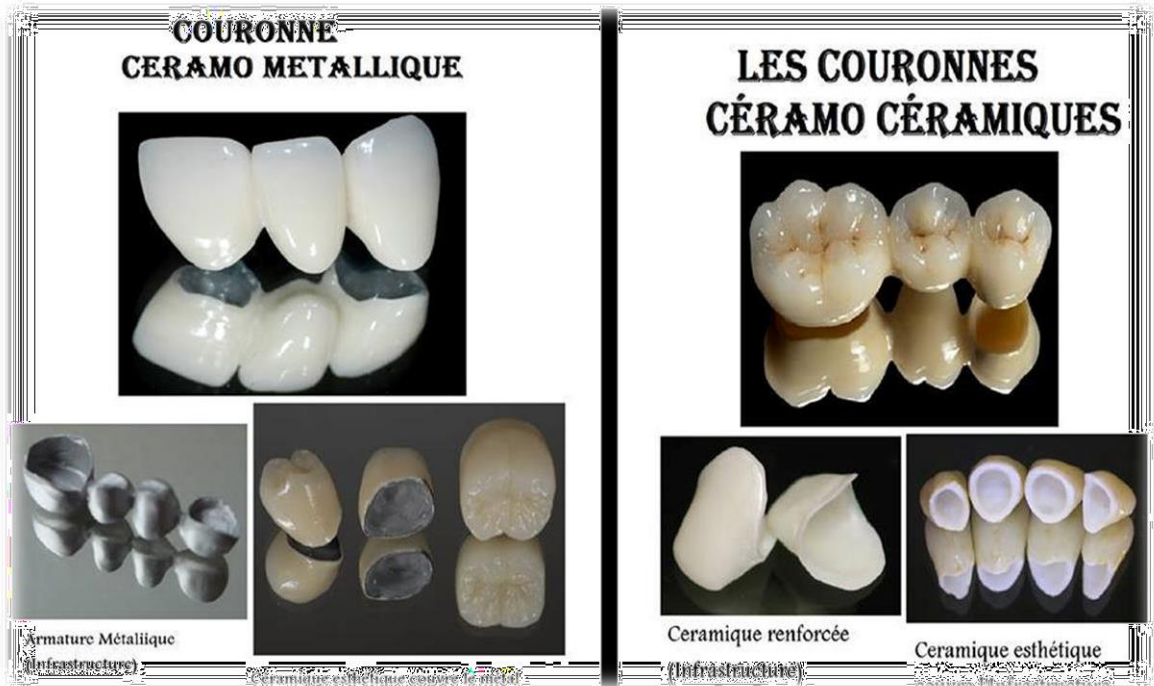


Fig 6 : couronnes céramo-métalliques et couronnes céramo-céramiques.

Quelle que soit le type de couronne mise en place, seul le gradient esthétique est susceptible de varier, comme toute reconstruction mise en bouche, la couronne doit rétablir la fonction et répondre aux impératifs bio-fonctionnels de la cavité buccale.

1.2.5 Les bridges :

Leur but est de remplacer une ou plusieurs dents manquantes, en s'appuyant sur des dents présentes ou sur des implants. De manière générale, un bridge est constitué d'un ou plusieurs piliers antérieurs, d'un ou plusieurs intermédiaires (remplaçant les dents absentes) et d'un ou plusieurs piliers postérieurs. Dans leur conception, les piliers de bridge ressemblent à des couronnes.

Il s'agit de "chapeaux" recouvrant les dents sous-jacentes. Les intermédiaires, quant à eux, sont des éléments massifs (pleins), venant au contact de la gencive de la zone édentée. Ces pièces sont fabriquées d'un seul tenant, quel que soit le nombre d'éléments qui les composent. Tout comme pour les couronnes, le matériau le plus utilisé est la céramique, du fait de ses propriétés esthétiques et mécaniques inégalables.

1.3 Les implants : [5]

Les implants dentaires peuvent être envisagés comme plan de traitement lorsqu'un patient a une ou plusieurs dents manquantes. Un implant dentaire à lui seul ne peut pas remplacer une dent naturelle manquante. Un pilier doit être installé sur l'implant une fois ce dernier inséré dans l'os de la mâchoire. Selon le nombre de dents à remplacer, une couronne artificielle, une prothèse ou un bridge sera confectionné et installé sur le pilier. Si le patient n'a qu'une dent manquante, une couronne simple suffit. Si plusieurs dents doivent être remplacées, les choix sont multiples : utiliser un seul implant avec plusieurs couronnes soudées par un pont ou une prothèse, ou utiliser plusieurs implants avec des couronnes distinctes. Ce choix revient au patient, selon le plan de traitement recommandé par le professionnel en implantologie.

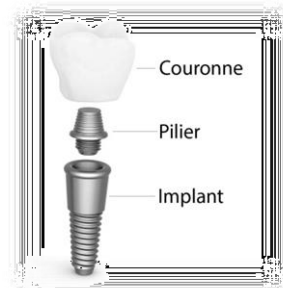


Fig : 7 les composants d'un implant.

Chapitre II :
Bases
fondamentales
de la CFAO

1 Historique : [7.29.30.31 .32.5]

Il y a une quarantaine d'années, les praticiens tournaient autour des taille-plâtre, des couteaux à cire ou des frondes de toutes sortes. Aujourd'hui, tout n'est qu'informatique ou robotique. Dans les plus petits stands se présentent des nouveaux spécialistes décents discipline en plein essor, la CFAO dentaire. La question n'est plus « est-ce un bien ? » ou « est-ce un mal ? ». Dans toutes les bouches, une seule certitude : cette nouvelle technologie est devenue une nécessité.

Mais qui se rappelle des efforts qu'il fut nécessaire de déployer pour en arriver à cela ?

Elle s'est imposée petit à petit d'elle-même et sans soutien sauf sans doute celui des prothésistes et des praticiens de base aimant tellement leur travail quotidien qu'ils y voyaient une mise en valeur de leurs connaissances. Ils n'avaient pas tort car la suite leurra donné raison. Combien sont ils encore à pouvoir parler détecte histoire contemporaine, sans doute une dizaine mais à coup sûr les 4 personnes que : Sadami Tsutsumi, Dianne Rekow, Werner Mörmann et Duret. Ils sont à Los Angeles en 1991 et dix années de folie se sont écoulées.

Avant ces dix années, quelques travaux ont bien été lancés de par le monde par des équipes s'intéressant à cette nouvelle idée, mais pour la plupart sans suite. Bénéficiant de l'immense talent de Denis Gabor, prix Nobel de physique pour ses travaux sur l'holographie, Leitz encouragera certains de ses élèves à utiliser cette technique. L'objet était de visualiser et de stocker optiquement le positionnement des dents pour faire une vaste étude menée par les orthodontistes américains, Burston en tête. Ces travaux étaient d'ailleurs dans l'esprit des techniques d'élastomères menées par Savara ou Lang mais l'holographie n'a jamais été une méthode de mesure, juste une technique de visualisation 3D.

Ce n'est donc que quelques années plus tard qu'en France (Duret), puis aux USA (Altschuler et Swinson) et enfin au Japon (Mori) que l'idée de fabriquer des prothèses par informatique fut posée, plus ou moins adroitement selon les auteurs. Comme il disait, l'holographie ne mesurant pas les objets, il fallait

trouver autre chose : ce fut l'interférométrie. Certes, ce ne furent que des hypothèses de travail mais seule l'équipe française les conduisirent, 12 années plus tard, à la première validation publique connue, étape obligatoire pour toute invention.

Les confrères purent voir et toucher le premier système de CFAO dentaire (Garancière 1983) puis assister à la première réalisation d'une couronne en pleine séance de l'ADF en 1985.

A partir de cette date, et durant une dizaine d'année, tout alla très vite. Le premier Cerec, « the Lemon » fut présenté par le tandem Moerman/Brandestini, appareil très rapidement pris en main par le grand groupe Siemens puis Sirona. D'emblée se dessinèrent deux grands axes de développement,

Le tout cabinet ou « chair side » du Cerec 1 et le mixte cabinet/laboratoire des Français de la société Henson.



Fig. 8: le Système Henson (1986). **Fig. 9 :** la prise d'empreinte CFAO en 1987

Le premier avait des ambitions modestes mais un prix très raisonnable en se limitant aux inlays, onlays et facettes. Le deuxième proposait toutes les prothèses de l'inlay au bridge complet en passant par les prothèses adjointes et les traitements d'orthodontie. Ce dernier repris par tous les systèmes aujourd'hui, y compris le très convivial Cerec. Ce fut aussi le point de départ des nouveaux venus, tous issus d'équipes européennes. Tout d'abord, le Procera de Matts Andersson, puis Le Cicero Van der Zel, le DCS et enfin, au début des années 90, une version européenne du DentiCad soutenue par Bego. Aux USA comme au Japon, les travaux n'étaient alors qu'issus des universités et ne donnaient pas lieu à des applications industrielles. Tous les appareils étaient des systèmes fermés rendant impossible toute passerelle de l'un à l'autre.

Cette période fut aussi marquée par les démonstrations en congrès de deux équipes, l'une de Vienne (France) avec Henson et l'autre de Zurich avec le Cerec. Les autres systèmes étaient alors peu connus, et en tout état de cause, pas encore utilisables. Ils en découvrent de nouveaux à chaque IDS mais beaucoup disparurent avant même leur passage au stade de l'industrialisation. Ils pourraient en citer une dizaine depuis le Ritter en Allemagne, le CAD esthétique d'Ivoclar, le Ceramatic en Suède ou jusqu'au Dexi (Nissan) au Japon. Alors que des équipes étaient en pleine création, d'autres présentaient leurs résultats (Moerman et Duret) afin de convaincre ces confrères et de renforcer leurs positions vis-à-vis de financiers avides de résultats concrets et exploitables commercialement parlant. Au tout début des années 90, un nouveau concept fit son apparition : le développement de centres de production industrielle de prothèses avec le système Procera. Ils avaient évoqué cette opportunité dans les années 70 mais c'est Matts Andersson qui la mit brillamment en pratique à Göteborg.

Les praticiens attaquer la nouvelle décennie avec trois grands axes de développement : le Chair side, le système cabinet laboratoire et la production centralisée en relation avec les laboratoires. Tous les systèmes étaient encore « fermés » au sens informatique du terme et cela allait durer jusqu'en 2005.

Trois raisons peuvent expliquer cette situation :

- la précision d'un appareil de CFAO passe par le contrôle de chaque étape (empreinte optique, CAO et usinage) mais dans un système naissant, le fait d'utiliser des composants de différentes sources peut nuire au résultat final en rendant toute intervention technique difficile.
- les équipes de développement étaient encore peu nombreuses et les opportunités que n'existaient pas aujourd'hui. Il en était de même des systèmes et langages de communication qui étaient propres à chaque développeur.
- enfin et surtout le retour à l'effort d'investissements qu'avaient fait les industriels passait obligatoirement par la vente des matériaux, consommables par définition de ce type de machine. La marge sur des machines coûteuses étant faible, chacun entendait se rattraper sur la consommation journalière, ce que limitait par définition le principe de système ouvert. Aussi, jusqu'en 2005 n'ont été proposés que des systèmes fermés. Par contre, en 1995/1997 un nouvel événement allait donner un second souffle à la CFAO dentaire.



Fig. 10 : un exemple de système disparu : le cad/cam de Ritter

Alors que les grands groupes s'intéressaient de très loin à cette nouvelle façon de réaliser des prothèses, le succès du Cerec 2 puis 3, et la montée de plus en plus impressionnante du chiffre d'affaire du Procera les alertèrent. Les conseillers changèrent, les anciens disparurent au profit d'une nouvelle génération aguerrie d'informatique et les Kavo, 3M, GC, Dégussa/Dentsply, Bego, Vita (compagnons de la première heure du Cerec)... s'impliquèrent de plus en plus fortement dans la CFAO dentaire. Pendant ce temps, les anciens, forts de leur savoir-faire, consolidèrent leur position et développèrent de nouvelles générations (Sirona, Procera) ou furent repris par des financiers (Hennson/Sopha devenu Cynovad).

En 2000, les systèmes se présentaient en trois types de configuration :

- le chair side (Cerec 2 puis 3)
- le tout laboratoire (Everest de Kavo, GN1 de GC, Cercom de Dégussa/Lava de 3M, Pro 50 de Cynovad)
- le mixte laboratoire/centre de production (Procera ou Pro 50 de Cynovad).

Rien n'était réellement nouveau dans les applications (inlays, coiffes, couronnes, petits bridges ou facettes) et ces systèmes étaient encore et toujours fermés.

Ce qui changeait, était le matériau. En effet, le reproche continuel que l'on faisait à la CFAO dentaire (en dehors de son prix) était qu'elle obligeait à utiliser des matériaux conventionnels peu esthétiques (titane ou composites) ou des céramiques fragilisées par l'usinage (les micros fractures des Empress ou Dycor). C'est la raison pour laquelle à la fin des années 90, ces grands groupes se sont attachés à trouver des alternatives aux matériaux utilisés. Certes Vita cherchait (et trouvait) des solutions intéressantes mais ceci se limitait au Cerec et aux éléments unitaires. Le grand nom allait arriver : la zircone. Son apparition chez Degussa et GC puis chez tous les fabricants donna une deuxième jeunesse à la CFAO.

Ce matériau ne se contentait pas d'être usinable en HIP mais aussi en green phase TZP, la dilatation ne pouvant être maîtrisée que par les logiciels de CAO.

En plus, la TZP permettait d'utiliser des petites unités d'usinage tout en offrant la suppression des armatures métalliques au profit des structures céramiques esthétiques. Bientôt, on allait même pouvoir choisir la teinte sous-jacente à la céramisation dans les bridges complets.

Il faut bien dire qu'après un démarrage un peu timide, le succès fut immense. Grâce à la CFAO dentaire, il était possible d'usiner des armatures esthétiques et solides. Toutes les sociétés ont donc intégré à leur catalogue l'usinage d'une zircone « maison » et n'ont fait que développer des méthodes d'usinage de plus en plus sophistiqué. D'une machine outils 3 axes 1/2 comme celle d'Henson en 1985, on est passé aux 4 axes puis aux 5 axes de chez Kavo. Les broches d'usinage sont devenues extrêmement puissantes et les axes de déplacement précis à 5µm près. Les centres d'usinage, comme on appelle ce type de machine, ont remplacé les petites machines-outils à commande numérique des années 90.

Ceci a eu une deuxième répercussion : les centres de fabrication de prothèses se sont multipliés et avec eux des acteurs aujourd'hui majeurs comme Straumann ou GC. Aussi les laboratoires, passionnés par la CFAO, se transformer en centres de production pour eux-mêmes et leurs collègues. Il est impossible de tous les citer mais Glildewell en Californie ou Rotzaert au Canada en sont de beaux exemples.

Un nouveau métier naissait chez les prothésistes, celui de spécialiste CFAO et/ou celui de fabricant d'armatures ou de coiffes pour ses collègues.

Ceci n'a pas eu que du bon car, forts de cette transmission des prises d'empreintes optiques (numérisées) par internet, de grands laboratoires, véritables villes de plus de 2 000 prothésistes sont apparues dans les pays d'Asie comme la Chine ou le Viet Nam.

Ces apparitions sont dues sans doute à la recherche du profit mais surtout à deux éléments informatiques passés inaperçus aux non spécialistes

- l'ouverture des systèmes
- le langage de communication universel comme STL.



Fig. 11: Cerec 3 en 2005



Fig. 12: GN1 de GC en 2003



Fig. 13: le Cercon de Dégussa en 2002

C'est en effet dans les années 2003-2005 que sont apparus les premiers systèmes ouverts. Jusqu'à présent, il fallait avoir la même marque depuis le scanner jusqu'à la machine outils (et même le matériau).

A partir de cette date, il fut possible d'acheter un système complètement fermé mais aussi un scanner d'une marque (exemple : 3shape) une CAO d'une autre marque (par exemple Dental Wings) et une machine outils d'une troisième marque (comme Roders, SESCOI, ou DMG). La seule contrainte était (et est encore) de bien avoir la parfaite communication (compatibilité) entre les différents éléments de la chaîne.

Henson a tout décrit et découvert et les logiciels qu'utilise aujourd'hui sont ceux qui étaient dans les machines de CFAO en 1987. Certes, la qualité de l'image est meilleure et l'ordinateur plus petit et plus rapide, mais tout y était, y compris, mi-95, la reconnaissance automatique des crêtes, des lignes de finition ou... des cuspidés pour déformer les dents théoriques en mémoire.

Après ce développement, très rapide si on le compare à d'autres technologies nouvelles relativement complexes, la CFAO se présente aujourd'hui sous différentes formes qu'il nous semble intéressant de broser rapidement.

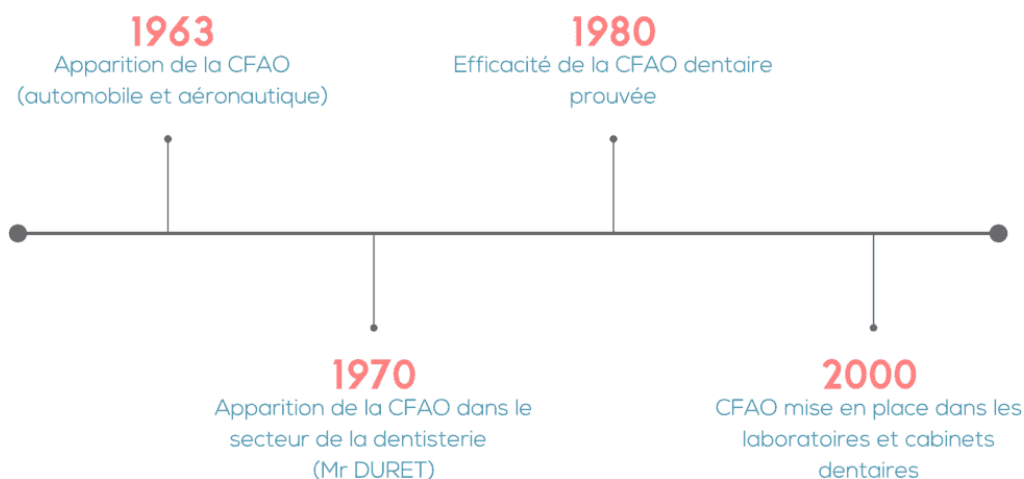


Fig 14 : frise chronologique de la CFAO

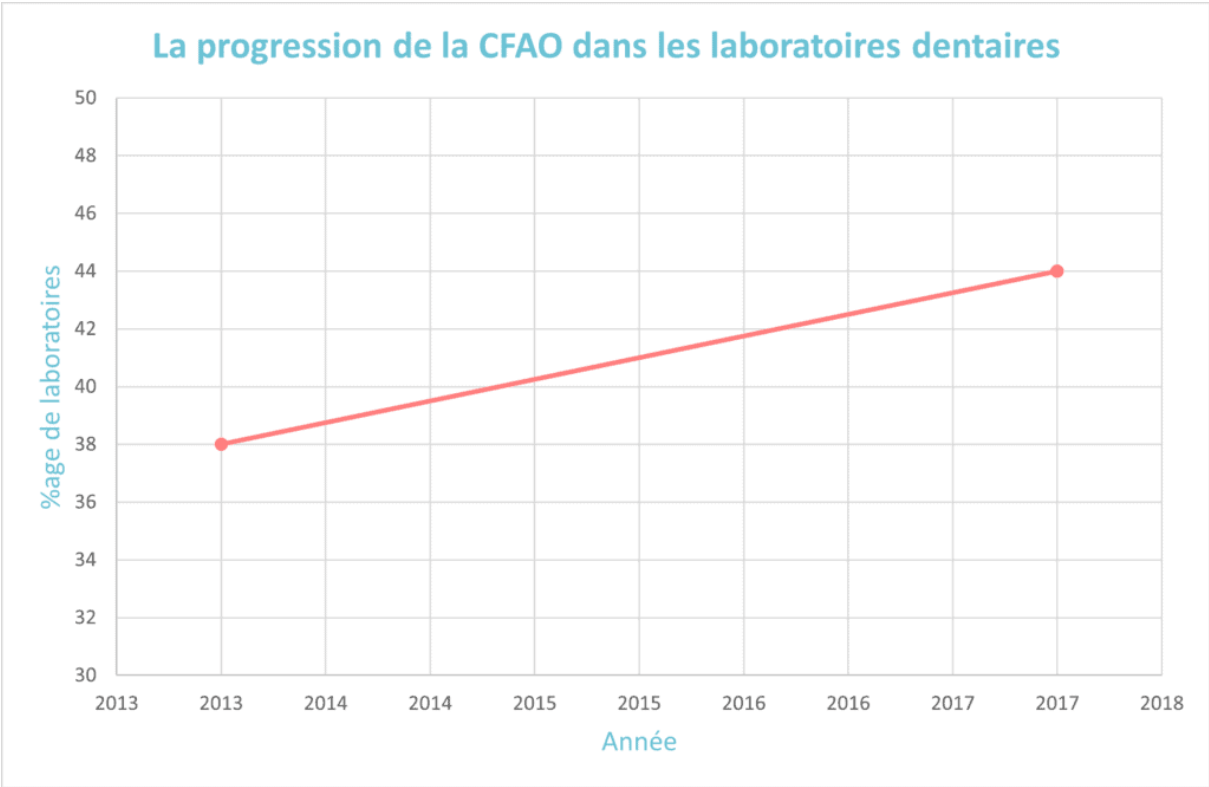


Fig 15: le développement de la CFAO dans laboratoires dentaires

2 Les composants :

Un système de CFAO se compose de trois unités parfaitement identifiables :

2.1 Le système de mesure :

Qui a pour fonction de numériser l’empreinte dentaire afin que ses coordonnées puissent être introduites et traitées par un ordinateur. Il s’agit plus d’un système de mesure que d’empreinte. Ces systèmes, après avoir connu une période utilisant des palpeurs mécaniques (Procera) n’utilisent plus que des méthodes optiques d’où le nom « empreinte optique ». Cet élément se compose d’une source lumineuse (représentée généralement par la projection d’une lumière structurée sous forme de points, lignes ou grilles) et d’un capteur ou « caméra » CCD. Derrière ces composants existent des unités chargées de filtrer, convertir en numérique et structurer les données pour qu’elles soient assimilables par l’unité de CAO. Elle peut être endobuccale (Cerec, Lava Cos, Cadent/Itero, Ios, E4D, Hint-els...) ou sous la forme d’un lecteur sur pied appelé scanner (3shape, Cynoprod...).

2.2 Un système CAO, de traitement et de conception :

Qui a pour fonction de rendre visible l’empreinte, de permettre de la matérialiser (prototypage) et de permettre à l’opérateur de construire (modéliser) sa prothèse. Porté par un poste de travail informatique de bonne qualité, il renferme les logiciels de création de toutes formes de prothèses (suivant le type d’appareil) allant de l’inlay aux bridges les plus complexes. Des applications particulières permettent la modélisation des prothèses adjointes ou des traitements ODF. Une application remarquable, introduite par Matts Andersson pour Nobel Biocare, est l’aide à la chirurgie, à la réalisation, au positionnement, à la modélisation et à la conception des implants sous toutes leurs formes.

2.3 Un système de réalisation matérielle :

Véritable unité de fabrication, pouvant travailler par addition (fusion de Bego) ou par soustraction (fraisage, ultra son...). Cela va du petit appareil intégrable au cabinet dentaire (Cerec 3D) à d'énormes machines outils industrielles à commandes numériques pour les grands laboratoires ou les unités de fabrication.

S'il existe toutes les tailles, nous trouvons aussi tous les degrés de sophistication. Tous les matériaux y sont usinables, plus ou moins vite (entre 5 et 30 minutes par éléments), avec plus ou moins de précision (en général en dessous de 10 μm).

Il faut signaler que la couverture esthétique doit toujours être réalisée par le prothésiste et que cette caractérisation, faite sur des éléments CAO, n'a rien à envier aujourd'hui aux systèmes traditionnels. Ceci justifie d'un rapprochement étroit entre le cabinet et le laboratoire qui décident d'utiliser cette technologie.

Ces trois composants sont reliés entre eux suivant différentes configurations avec un langage informatique spécifique (système fermé) ou universel (système ouvert)

- Le « **tout-en-un** » si les trois éléments sont réunis en un même lieu. Il est possible de multiplier l'un des composants en fonction des demandes reçues par le cabinet ou le laboratoire. Ces systèmes sont en général petits (Cercom), moyens (Cerec ou Bien air) ou grands (Lava, Everest).
- **Les systèmes déportés ou le scanner** (avec ou sans CAO) se trouve dans le laboratoire (rarement dans les cabinets dentaires) et ou l'unité de fabrication se trouve dans des grands centres de fabrication (Straumann, Procera...) récemment, certains laboratoires se sont spécialisés vis-à-vis de leurs collègues en leur assurant la conception CAO et l'usinage, laissant au prothésiste demandeur la caractérisation et la finition de la pièce prothétique. Cette configuration limite la charge d'investissement pour les petits laboratoires qui souhaiteraient utiliser la CFAO et introduire la zircone dans le panel de leurs matériaux.

3 Définition de CFAO : [20]

Le sigle CFAO est l'abréviation de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur,

En anglais CAD/CAM (Computer-Aided Design/Manufacturing)

On utilise cet acronyme pour désigner la combinaison

de la CAO (Conception Assistée par Ordinateur)

et FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur), qui Consiste en l'utilisation des outils numériques au service de la chaîne numérique allant de la modélisation à la fabrication des prothèses.

Cette technologie utilisée à la fois en laboratoire et en cabinet dentaire peut être appliquée aux inlays, onlays, facettes, inlay-cores, prothèses fixes (unitaires et plurales), prothèses fixes sur implants (collées ou vissées).

Pour chaque famille, les procédés de fabrication diffèrent mais les processus numériques restent sensiblement les mêmes



Fig16 :l'image représente les différents dispositifs de la CFAO

3.1 Indication : Quelles applications de la CFAO ? [91]

L'utilisation de la technologie CFAO a abouti à l'amélioration des solutions thérapeutiques existantes et a ouvert la voie à de nouvelles solutions.

Les domaines d'applications de la CAD/CAM vont de la dentisterie restauratrice, la prothèse en passant par l'implantologie, la chirurgie orale mais aussi l'orthodontie.

Cette technique permet la réalisation de restaurations indirectes (inlays, onlays), de prothèses fixées unitaires et plurales, d'inlay-cores, de facettes, de prothèses fixées supra-implantaires (collées ou vissées) et même de prothèses provisoires.

Elle trouve aussi son application dans les prothèses amovibles et prothèses amovibles sur implants.

En prothèse adjointe, les logiciels dédiés sont à même de concevoir les bases de prothèses complètes, les châssis métalliques en prothèse partielle et de simuler l'occlusion du patient sur articulateur virtuel.

Elle est aussi utilisée pour la confection de prothèses maxillo-faciales. Pour chaque application les procédés de fabrication et les matériaux diffèrent mais le flux numérique reste sensiblement le même.

En implantologie, la CFAO permet de fabriquer des piliers individualisés, des barres implantaires sur mesure et des guides chirurgicaux implantaires pour guider le geste chirurgical lors de la pose d'implants.

3.2 Les différents matériaux utilisés :

Les céramiques utilisées en CFAO

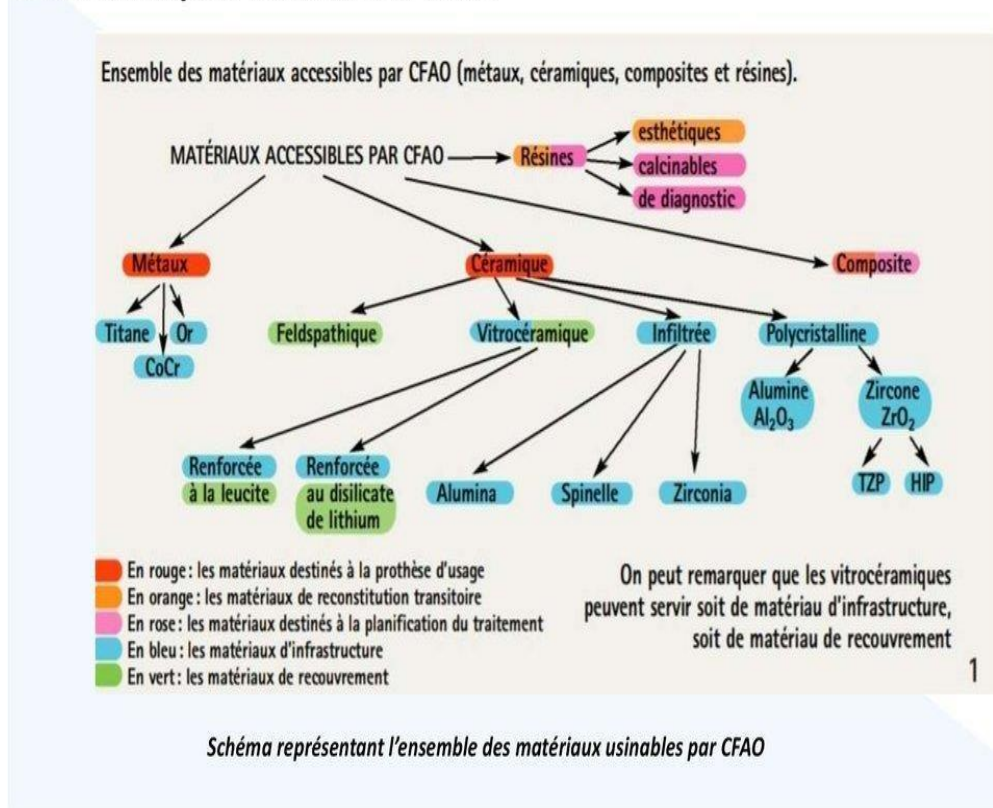


Fig 17 : l'ensemble des matériaux utilisés par la CFAO

3.2.1 La résine : [85.89]

La résine composite était principalement utilisée pour effectuer des restaurations directes au fauteuil. Il y a encore quelques années, elle ne pouvait être utilisée qu'en postérieur du fait de sa faible résistance. Toutefois, grâce aux nombreuses innovations et aux progrès accomplis pour l'amélioration de ses propriétés, elle peut désormais être utilisée dans le secteur des molaires. Avec le développement de la CFAO, la résine, qui n'était qu'un matériau de restauration directe, est désormais un matériau usinable sous forme de bloc composite. Ainsi peut-elle servir à fabriquer des inlay/onlay, des couronnes et des facettes.

Usinées dans des disques ou dans des blocs, les résines sont particulièrement utilisées pour réaliser des bridges et des couronnes provisoires de longues durées qui serviront, ensuite, de base numérique à l'élaboration de la restauration définitive. La résine polymère, par exemple, est reconnue pour son efficacité dans la conception d'armatures et de chapes de bridges.

Renforcée en fibres de verre, elle a l'avantage d'offrir une importante résistance mécanique, même dans un environnement aqueux. Particulièrement appréciée pour ses performances dans les zones antérieures et postérieures de la bouche, la résine polymère dispose toutefois d'une durée de vie maximale de pose de l'ordre d'un an. Elle présente deux avantages majeurs :

- C'est un matériau à très faible solubilisation.
- C'est un matériau très léger et confortable

Aujourd'hui, les CFAO dentaires en résine sont devenus incontournables pour les traitements complexes nécessitant plusieurs mois de mise en œuvre avant la restauration définitive.



fig 18 : l'image représente
la résine biocompatible



fig19: l'image représente
la résine calcinable



fig20: l'image représente
la résine modèle

3.2.2 Le métal : [20]

Parmi les matériaux utilisés aussi bien en dentisterie traditionnelle qu'en CFAO dentaire, on retrouve le métal, qui peut être mis en forme de deux façons différentes : soit avec un laser, soit en usinage à partir de disques ou de blocs. Plusieurs types de métaux peuvent être utilisés.

3.2.3 Le CoCr : [20]

Les armatures en CoCr, ou cobalt chrome, réalisées par frittage laser offrent plusieurs avantages, et notamment un ajustage précis, pas d'oxydation ni de bascule, et moins de friction qu'une armature conçue avec une pièce usinée. Grâce à une consistance très proche de celle de la cire, le fraisage à sec du CoCr est facilité et le résultat s'avère particulièrement homogène. Le CoCr offre également un maximum de confort puisque la finition est simplifiée, le processus est fiable et la réalisation obtenue est sans bulles ni autres défauts. Enfin, c'est un matériau résistant, adhérent et biocompatible

3.2.4 Le titane : [20]

Excellente alternative à la céramique, le titane a l'avantage de disposer d'une très bonne résistance mécanique et d'une bonne flexibilité. Lui aussi biocompatible, il est très résistant à la corrosion et ne contient aucun élément toxique. Si son champ d'action ne cesse de s'élargir en dentisterie, c'est parce qu'il est l'un des meilleurs matériaux pour intervenir sur les structures osseuses.

Les métaux semi-précieux ou précieux tels que l'or, le cobalt chrome ou le nickel chrome peuvent également être utilisés.

3.2.5 La céramique : [34.39.48.78]

La Conception et fabrication assistée par ordinateur dentaire offre la possibilité d'utiliser tous les types de céramiques. Si les laboratoires auront quasiment tout le choix possible en matière de céramiques esthétiques et structurales, les cabinets dentaires, eux, se limiteront généralement aux céramiques esthétiques.

3.2.5.1 La céramique polycristalline :

La céramique polycristalline ainsi que la zircone ne sont accessibles que depuis la création de la CFAO. Grâce à leurs excellentes propriétés mécaniques, elles sont aussi bien indiquées pour les petits bridges que pour les couronnes à l'unité. L'alumine, notamment, est utilisée sur les dents vivantes pour les éléments antérieurs grâce à sa transparence. Elle est toutefois relativement fragile et donc incompatible avec les armatures de bridges. L'oxyde de zirconium, ou zircone pure, n'est utilisé qu'en céramique esthétique puisque, lors de la phase de refroidissement, il augmente de volume et se fissure. C'est la raison pour laquelle il nécessite un additif, qui permet de solidifier et de stabiliser l'ensemble. C'est ce que l'on appelle la zircone YTZP.



Fig 21 : bloc de vitrocéramique enrichi en zircon

3.2.5.2 La céramique feldspathique :

Biocompatible, la céramique feldspathique se présente sous la forme de blocs constitués de pigments de couleurs frittés, de poudres d'oxydes, de fondants et d'un agent renforçant (leucite ou albite selon les modèles).

Relativement facile à usiner, la céramique feldspathique permet de réaliser des facettes, des couronnes à l'unité ainsi que des inlay/onlay.

C'est un matériau principalement utilisé en dentisterie esthétique, à condition toutefois qu'un maquillage soit réalisé.

Il a toutefois l'inconvénient de disposer de faibles propriétés mécaniques nécessitant impérativement un collage.



Fig 22 :Plot de céramique feldspathique pour l'usinage avec vue en transparence de la future Prothèse.

3.2.5.3 La céramique infiltrée :

Composée de verre et de cristaux minéraux, la céramique infiltrée a l'avantage d'être très résistante. Sa fabrication se fait en deux étapes : la structure en céramique préfrittée poreuse est créée avant d'être infiltrée par un verre liquide destiné à combler ses porosités.

Il existe trois types de céramique infiltrée :

- In-Ceram Alumina, à base d'alumine
- In-CeramSpinell, à base de magnésium et d'alumine
- In-CeramZirconia, à base de zircone

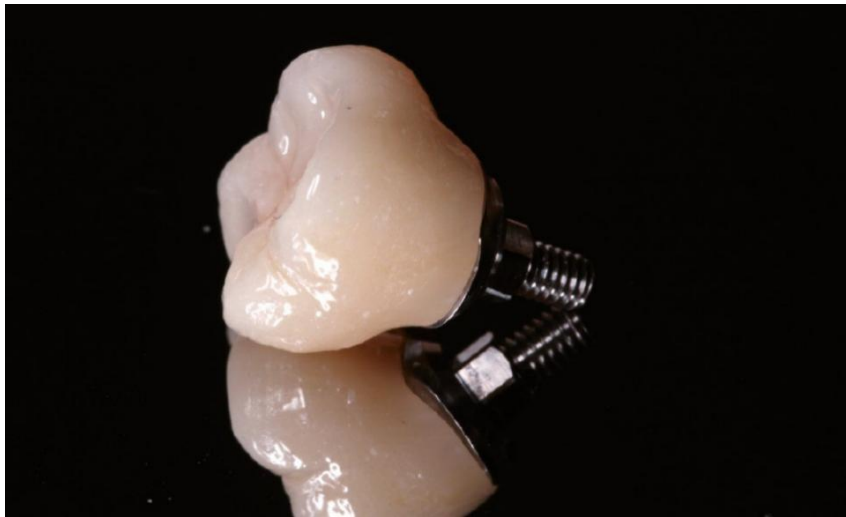


Fig23:La céramique infiltrée de polymère (PICN)

3.2.5.4 La vitrocéramique :

La vitrocéramique se compose d'alumine, de silice et d'additifs tels que des colorants, des oxydes ou encore des opacifiants en fonction du résultat souhaité. Elle se divise en deux grandes familles :

- la vitrocéramique à majorité de disilicate de lithium qui s'avère résistante à la flexion et possède d'excellentes propriétés mécaniques, utilisée pour la réalisation de couronnes sans infrastructure ;
- la vitrocéramique à majorité de leucite qui possède un haut coefficient de dilatation thermique et une bonne résistance mécanique, elle aussi utilisée pour la réalisation de couronnes sans infrastructure.



Fig 24 :Plots de vitrocéramique pour l'usage.

Chapitre III :
Protocole
numérique de la
chaîne CFAO

1 Définition :

1.1 Empreinte :

1.1.1 Empreinte conventionnelle :

Une fois l'empreinte réalisée, elle se doit d'être désinfectée, car si l'empreinte est le principal vecteur d'information, elle constitue aussi un vecteur de contamination entre le cabinet dentaire et le laboratoire de prothèse. La conservation des empreintes et leur traitement constituent aussi des étapes clés garantes du succès et de la qualité de nos futures restaurations (coulée de plâtre de type IV sous vide, mise en place de dies...)

Les techniques d'empreinte conventionnelle sont décrites de manière exhaustive dans la littérature. Elles ont fait leur preuve dans l'exercice quotidien de nombreux praticiens pour la réalisation d'une prothèse.

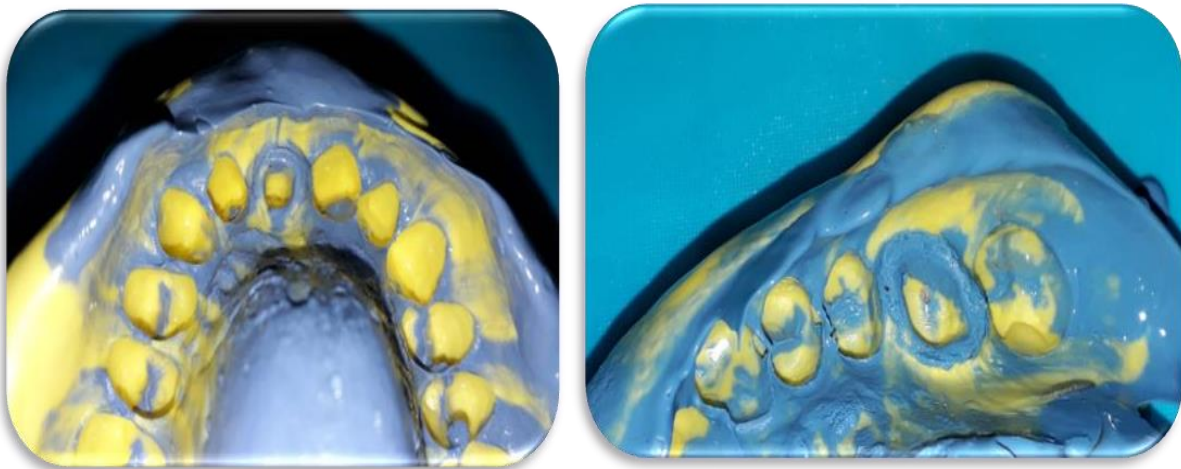


Fig 25: Empreintes conventionnelles (service médecine dentaire/HCA).

Le fichier numérique qui sera envoyé au laboratoire peut être réalisé de 2 façons différentes :

- Scannage du modèle eu sein du laboratoire avec un scanner table.



Fig 26: exemple de scanner de table

Enregistrement d'une empreinte conventionnelle par numérisation à l'aide du cône-beam (empreinte ou modèle en plâtre).



Fig 27: cône-beam

1.1.2. Empreintes numériques :

1.1.2.1. Empreintes numériques optiques :

L'empreinte optique est la première étape de la chaîne numérique dématérialisée. Réalisée à l'aide d'une caméra, c'est « une étape fondamentale de la conception et la fabrication assistées par ordinateur » selon le Pr Duret. Cette étape primordiale permet de limiter à elle seule les imprécisions.

- **Intra-orale :**

Il s'agit d'effectuer des prises de vues successives, sous différents angles, de tout ou partie de la zone sur laquelle nous allons travailler. Il existe trois grands types de prises de vues : les vues de la zone de la préparation, les vues des surfaces antagonistes et les vues vestibulaires permettant de rapprocher les deux arcades en occlusion statique (Lava).

Certains systèmes (Grec) repositionnent “théoriquement” les deux arcades en fonction des reconnaissances anatomiques sur les surfaces occlusales.

Le signal réfléchi sera recapté par la caméra ce qui permettra de créer le modèle tridimensionnel (3D).

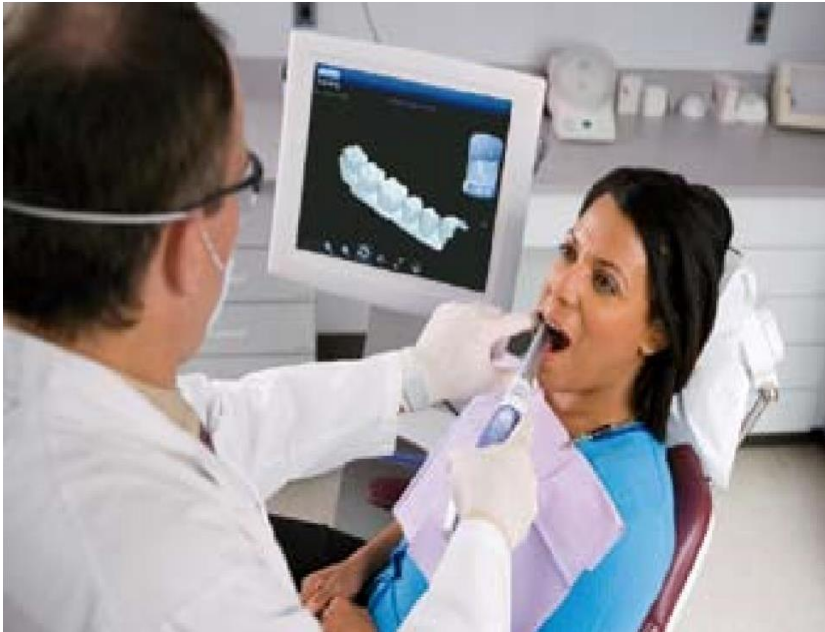


Fig 28: Prise d’empreinte avec le LavaCos.

- **Scanner de table :**

Le but est de scanner un modèle en plâtre ou une empreinte conventionnelle.

1.1.2.2 Empreintes numériques mécaniques :

Il y a donc un contact entre la surface de l'objet à analyser et un palpeur. Ce palpeur balaye donc la surface de l'objet et enregistre par micro palpation la forme et la taille de l'objet.

Il existe deux méthodes de réalisation :

- A la volée, c'est-à-dire manuelle.
- Et la méthode universelle, qui est automatisée, plus rapide et plus précise.

1.1.2.3 Empreintes numériques par échographie.**1.1.2.4 Empreintes numériques radiologiques : cône beam.**

La réalisation d'une empreinte en prothèse, qu'elle soit conventionnelle ou optique, obéit aux mêmes exigences et conditions de réalisation. Les caméras en empreinte optique n'enregistrent que les structures parfaitement visibles et ne vont pas, à la différence des matériaux utilisés lors d'une empreinte physico-chimique, défléchir les tissus. Lors de la réfection d'anciennes prothèses présentant des limites de préparation intramusculaires profondes, l'empreinte optique peut, dans certains cas, atteindre ses limites.

1.2 La conception Assistée par Ordinateur :

Le logiciel reçoit l'empreinte de la préparation, soit en format de logiciel fermé, soit en format ouvert (STL). Son but est de modéliser la future prothèse grâce à un logiciel de CAO, en tenant compte des fondamentaux de la construction prothétique. Cette conception peut être effectuée au cabinet, au laboratoire de prothèse ou dans un centre de production. L'ouverture des fichiers impose l'achat d'un logiciel spécifique pour chaque type de prothèse et le renouvellement d'une licence (selon les systèmes, l'évolution est payante)

1.3 La Fabrication Assistée par Ordinateur : [94]

C'est un processus de réalisation d'objets donc de matérialisation physique d'un objet virtuel (créé par CAO) par façonnage, par procédé additif ou soustractif et cela se fait par technique informatisée via une chaîne numérique.

2 Les composants de la CFAO :[33]

Le système est constitué d'une unité d'acquisition et d'une unité d'usage. L'unité d'acquisition comprend une caméra 3D intra buccale pour la prise d'empreinte, connectée à un ordinateur dédié. L'ordinateur (PCWindows®) exploite le logiciel capable d'analyser les images de la caméra, de les assembler et permet la conception des restaurations par le praticien . L'unité d'acquisition est d'encombrement réduit et mobile. Elle trouvera sa place naturellement à côté du fauteuil, à portée du praticien.



Fig 29: Unité d'acquisition



Fig 32 : l'unité d'acquisition reste disponible



Fig 30: caméra intrabuccale.

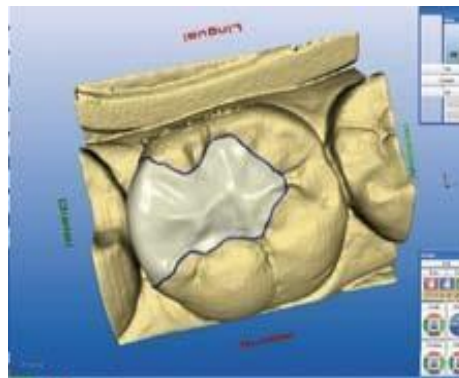


Fig 31 : modélisation d'un inlay.

L'unité d'usinage est une machine-outil capable de tailler avec précision dans un bloc de céramique la pièce prothétique conçue sur le logiciel. La pièce prothétique est usinée par 2 fraises diamantées spécifiques ayant une durée de vie comprise entre 10 et 25 cycles.

Leur remplacement est demandé par la machine en cas de fracture ou d'usure d'une des fraises.



Fig 33 : L'unité d'usinage



Fig 34: fraises diamantées .



Fig 35 : la machine Spécifiques

3 Protocole numérique de la chaîne de la CFAO :

3.1 Principe de l’empreinte optique :[25_26_27_28_29]

L’empreinte optique consiste à mesurer le volume dentaire grâce à un système ondulatoire. Les rayons lumineux sont envoyés sur l’objet à enregistrer, la « déstabilisation, la dérive ou la déformation du système rayonnant » donne la géométrie tridimensionnelle de la préparation dentaire. La perturbation du rayon lumineux est provoquée par les volumes des restaurations dentaires et des muqueuses. La caméra optique permet de réaliser une empreinte optique. Afin de réaliser l’empreinte optique, quatre éléments sont fondamentaux :

- Les émetteurs de lumière (incohérente ou cohérente) ou d’ondes situés en dehors du spectre de la lumière visible
- Les capteurs, qui sont sous formes d'analyseurs d'intensités de temps ou de longueurs d'ondes vont donner une information que l'on appelle l'information analogique. Le capteur reçoit le rayonnement émetteur et mesure la perturbation provoquée par l’objet le long du trajet lumineux.
- Les convertisseurs, décryptent la perturbation analogique transmise par le capteur et la convertissent en données numériques. Ils sont couramment appelés convertisseurs analogiques -numériques.
- Les filtres et algorithmes de traitement de l'image formatent les données numériques dans des formats type STL, reconnu par le système CAO.

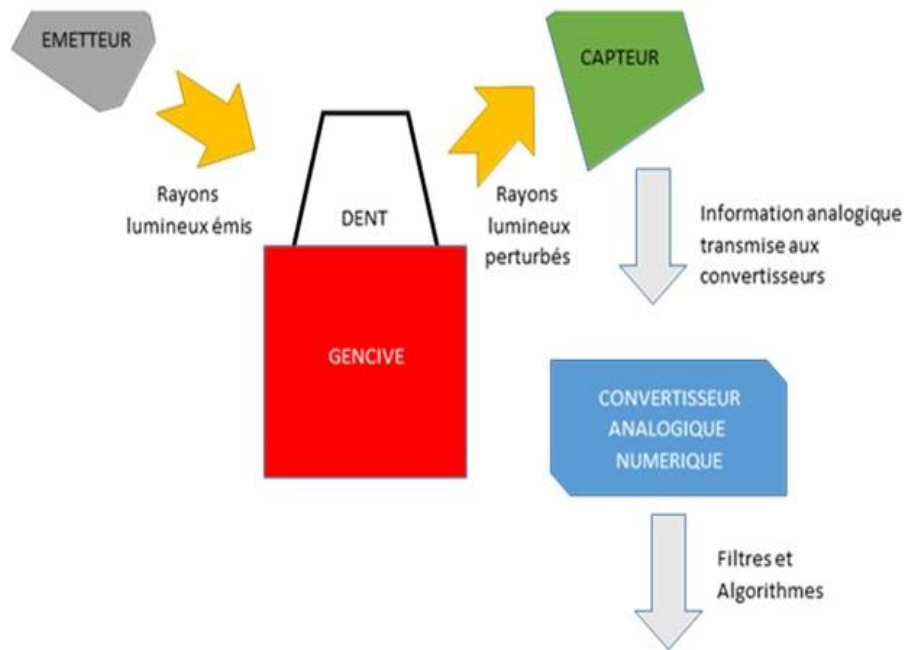


Fig 36: Schéma récapitulatif du trajet lumineux

3.2 Méthode d'enregistrement des empreintes optiques :

En empreinte optique il existe deux méthodes d'enregistrement :

- Méthode directe par triangulation en lumière structurée.
- Méthode indirecte en lumière structurée active et/ou focalisée.

3.2.1 La triangulation en lumière structurée :[24]

Le principe consiste à placer d'une part un émetteur de lumière et de l'autre part un récepteur (une caméra). L'objet à enregistrer se trouve au sommet du triangle formé par les 3 points suivants : émetteur, récepteur et la dent.

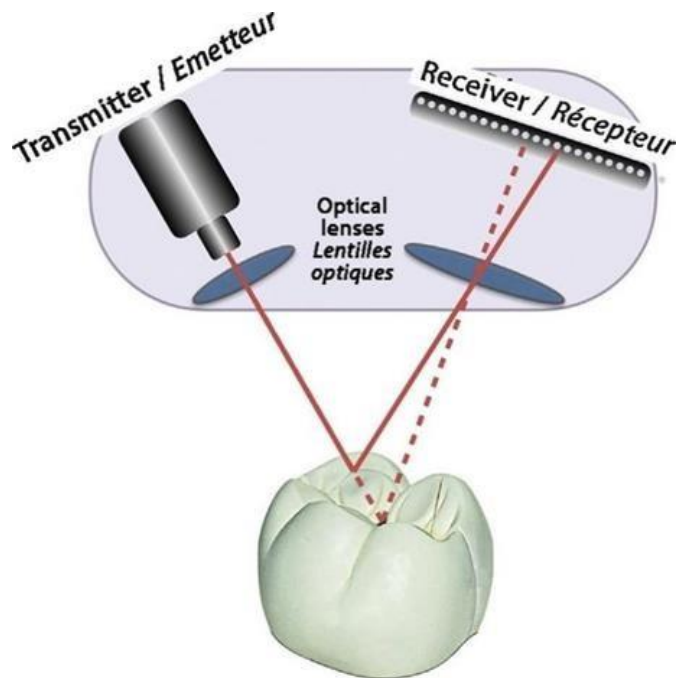


Fig 37: Triangulation en lumière structurée

Cette méthode d'enregistrement présente quelques inconvénients :

- La limite de ce procédé est le point non visible, que l'on nomme l'ombre portée.
- L'objet doit rester stable lors de l'enregistrement pour pallier au flou cinétique.
- Les mouvements de balayages réalisés par l'opérateur doivent être contrôlables.
- La réflexion de la lumière doit se faire de la même manière en tout point.
- Le temps nécessaire à la lecture est long, de plusieurs minutes.

3.2.2 La méthode indirecte en lumière active ou focalisée :

D'une manière globale, la méthode indirecte consiste à projeter un réseau périodique sur l'objet, et l'observer à travers un deuxième réseau. Elle semble ressembler à la méthode par triangulation. Cependant elle est différente de la triangulation d'un point de vue mathématique car l'information est perçue grâce à l'interférence de deux réseaux ondulatoires ou macroscopiques qui sont projetés et observés sur l'objet.

En odontologie il existe le principe du moiré optique et le moiré électronique. Le Moiré optique Cette méthode consiste à la superposition de deux réseaux microscopiques appelés neutres et c'est grâce à l'interférence lumineuse que se crée l'aspect moiré. C'est la première méthode mise au point pour être utilisée en bouche afin de réaliser une empreinte directe au fauteuil.

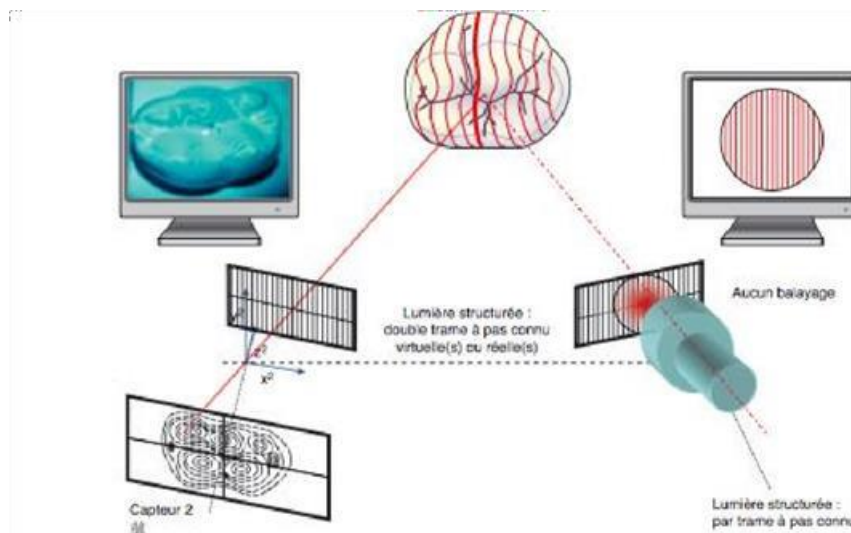


Fig 38 : Principe du moiré optique en odontologie

3.3 Avantages et inconvénients :[15_45]

Tableau 1: Avantages et inconvénients de l'empreinte optique selon la littérature

Avantages	Inconvénients
Plus confortable pour le patient	Difficulté à enregistrer les limites sous gingivales de préparation
Gain de temps	Courbe d'apprentissage
Procédure cliniques simplifiées	Coût et entretien
Disparition des modèles en plâtre	Le saignement sulculaire peut masquer des limites des préparations. Ce sont des informations importantes pour la future adaptation de la prothèse.
Meilleure communication avec le prothésiste ou laboratoire	L'accessibilité de la caméra dont les têtes d'enregistrement sont volumineuses peut être limitée au niveau des secteurs postérieurs.
Meilleure communication avec les patients	Les zones de contre dépouille peuvent apparaître imprécises créant ainsi des zones d'ombres à l'écran.

3.4 L'acquisition des données : [94]

L'étape d'acquisition des données peut se faire de deux manières :

– grâce à un scanner extra-oral de bureau (sans ou avec contact par palpation) qui numérise un modèle en plâtre issu d'une empreinte ou directement une empreinte classique chimico-manuelle.



Fig 39 : scanner extra orale

–directement de manière numérique par empreinte optique grâce à une caméra intra orale.

4 l'Implantologie Assistée par Ordinateur (IAO).:[3_5_16]

Il est aujourd'hui reconnu que le positionnement d'un implant n'est plus uniquement conditionné par le volume osseux disponible et par les structures anatomiques sensibles (nerf alvéolaire inférieur, racines des dents voisines, etc.) mais aussi par l'anatomie de la future restauration implanto-portée.

Au cours des dix dernières années, le développement des systèmes d'imagerie 3D par faisceau conique (CBCT) s'est accompagné de la démocratisation des logiciels de navigation 3D et de planification implantaire.

L'intégration de la planification implantaire dans la chaîne intégrée et interopérable de la CFAO dentaire a permis de développer une nouvelle discipline : l'Implantologie Assistée par Ordinateur (IAO). Elle nous permet de réaliser la totalité des étapes de mise en place d'un implant et de réalisation d'une couronne implanto-portée de façon numérique.

La chaîne d'IAO peut être divisée en plusieurs maillons que nous allons détailler les uns après les autres.

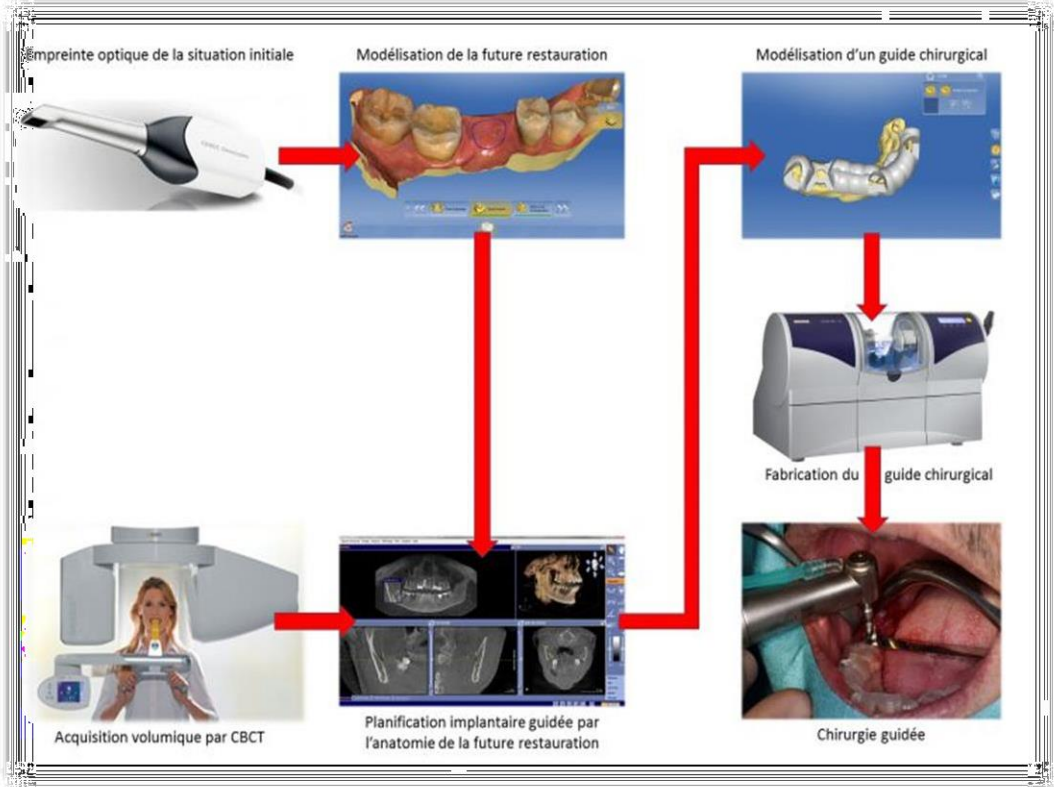


Fig. 40 : La chaîne numérique en IAO : Chirurgie implantaire.

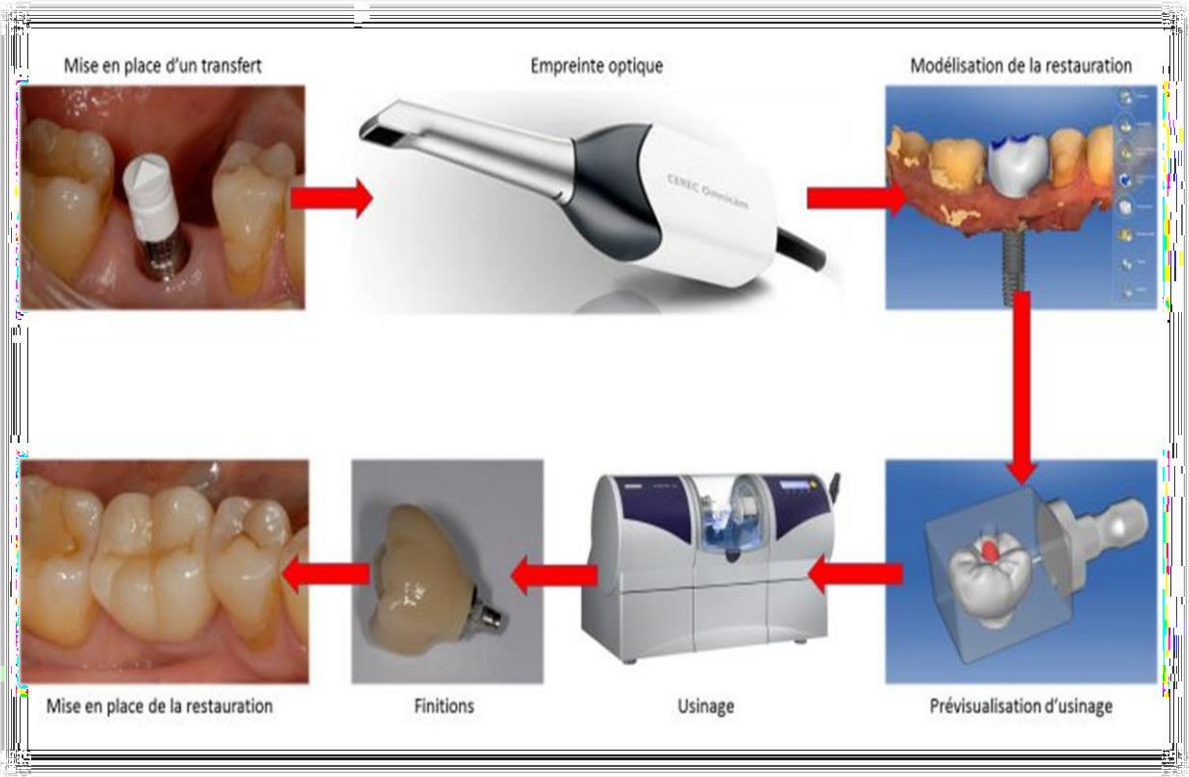


Figure 41 : La chaîne numérique en IAO : Prothèse implanto-portée.

4.1 Empreinte optique et planification prothétique :

Le secteur à restaurer et son antagoniste sont enregistrés à l'aide d'une empreinte optique.

Ce secteur peut être déjà édenté ou présenter une dent ne pouvant être conservée. Dans ce cas, une « extraction virtuelle » devra être réalisée sur le logiciel de CAO.

La forme de la future restauration, véritable wax-up numérique, est modélisée.



Fig. 42 : Modèle virtuel d'une arcade mandibulaire présentant un édentement unitaire.



Fig.43 : Modèle virtuel d'une arcade maxillaire présentant une 27 devant être extraite

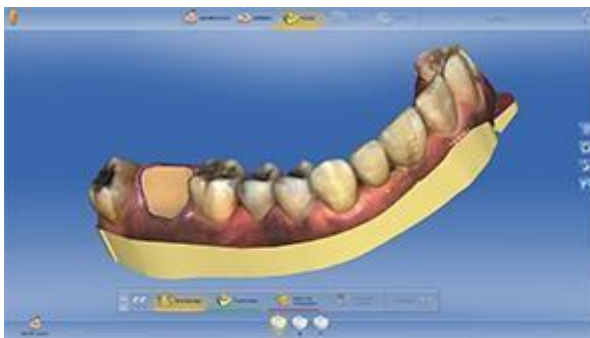


Fig. 44 : Extraction virtuelle.



Fig. 45 : Wax-up numérique d'une de la 27 36

4.2 Radiologie 3D et planification implantaire :

Parallèlement à l’empreinte optique, un enregistrement radiologique des volumes bucco-dentaires est réalisé par CBCT. Il permet la planification de la position de l’implant.

Les données de planification prothétique sont importées dans le logiciel de planification implantaire. Ainsi la position de l’implant est non seulement conditionnée par le volume osseux disponible, mais aussi par la forme et la position de la future restauration.

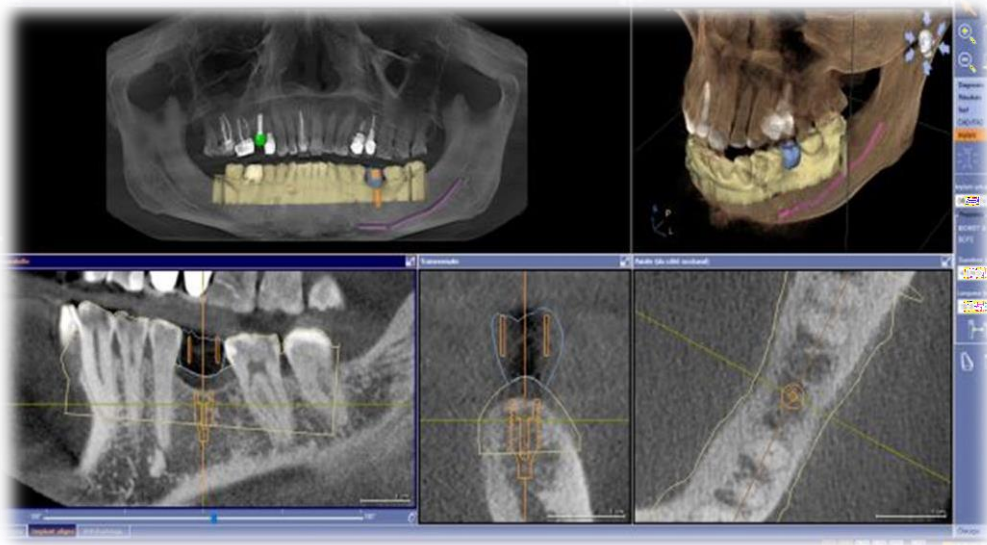


Fig. 46 : Planification implantaire en site de 36 guidée par le wax-up numérique. Les données issues de l’empreinte optique ont été superposées aux données issues du CBCT.

4.3 Réalisation d'un guide chirurgical :

Les données issues de la planification implantaire et les données issues de l'empreinte optique initiale sont combinées pour être exportées vers le logiciel de CFAO afin d'élaborer un guide chirurgical.

Ce guide peut être fabriqué par usinage ou par impression 3D.

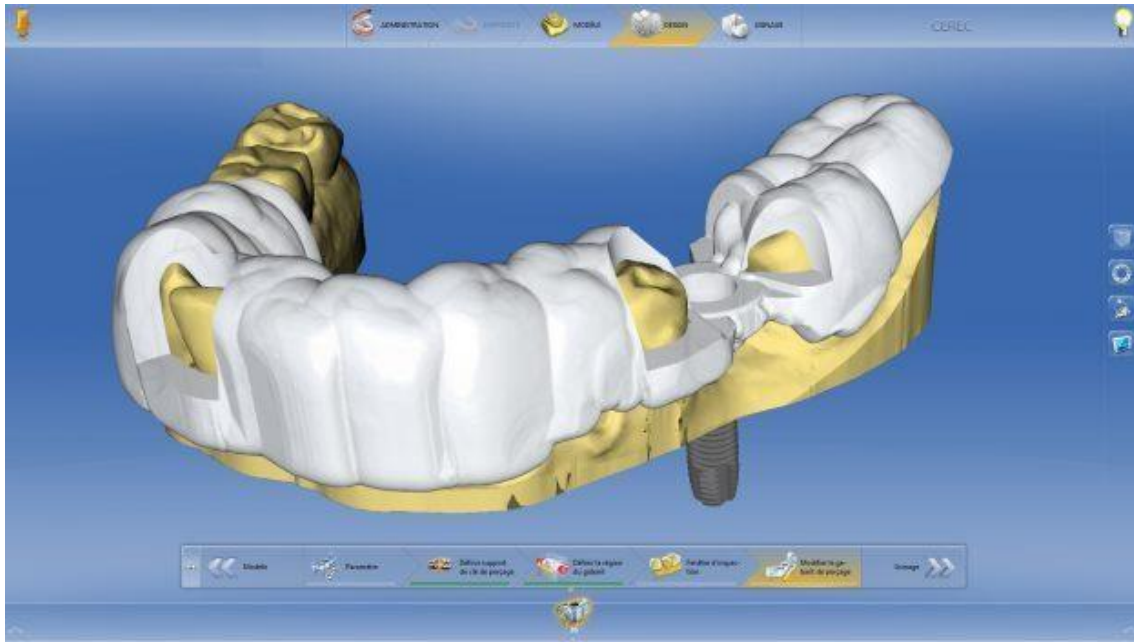


Fig. 47 : Modélisation d'un guide chirurgical.



Fig. 48 : Guide chirurgical usiné dans un bloc de PMMA.



Fig. 49: Guides chirurgicaux réalisés par impression 3D.

4.4 Chirurgie implantaire : [5]

Le guide chirurgical est mis en place. Des douilles de guidage sont utilisées pour le passage des différents forets.

Elles présentent pour diamètre intérieur, le diamètre du foret à utiliser et pour diamètre extérieur le diamètre de l'orifice usiné dans le guide chirurgical.

De cette façon l'axe de l'implant défini lors de la planification est parfaitement respecté. De plus, la position de l'extrémité supérieure de la douille étant également définie lors de la planification implantaire, la profondeur de forage est elle aussi parfaitement respectée, ce qui permet de préserver les structures anatomiques sensibles. La mise en place guidée de l'implant permettra de garantir la plus grande précision dans le positionnement final de ce dernier.



Fig. 50 : la chirurgie implantaire.

4.5 Empreinte optique de l'implant : [3]

Dans certaines situations cliniques, il peut être intéressant de réaliser un pilier de cicatrisation anatomique ou une restauration provisoire de façon extemporanée. L'empreinte optique est alors réalisée juste après la mise en place de l'implant.



Fig. 51 : Enregistrement du profil d'émergence créé par une couronne provisoire en site de 11.



Fig. 52 : Enregistrement du collet physiologique de 1

Dans d'autres cas, le praticien attendra l'ostéo-intégration de l'implant avant de réaliser l'empreinte optique permettant la réalisation de la restauration d'usage. Dans ce cas, l'utilisation d'un dispositif de prise d'empreinte optique sans poudrage permet d'enregistrer facilement le profil d'émergence créé par le pilier de cicatrisation ainsi que la position du collet physiologique de la future restauration.

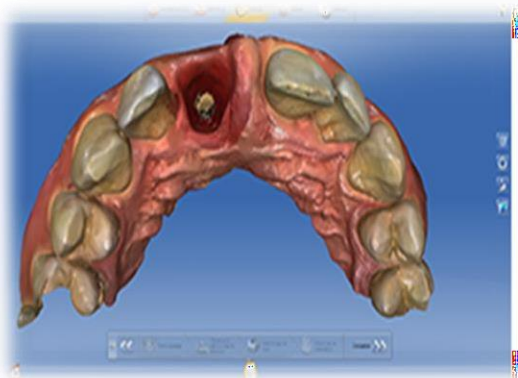


Fig. 53 : Enregistrement du profil d'émergence.



Fig. 54 : Enregistrement du collet physiologique.

4.6 Modélisation de la restauration implanto-portée :

Lors d'une extraction suivie d'une implantation immédiate, la fermeture du site opératoire peut être assurée par un pilier de cicatrisation anatomique (concept SSA développé par G. FINELLE) ou par une restauration provisoire (mise en esthétique immédiate).

La surface de couverture est alors définie par le collet physiologique de la dent extraite relevé sur l'empreinte optique de la situation initiale. Le profil d'émergence est optimisé pour garantir une bonne pérennité des tissus mous péri-implantaires.

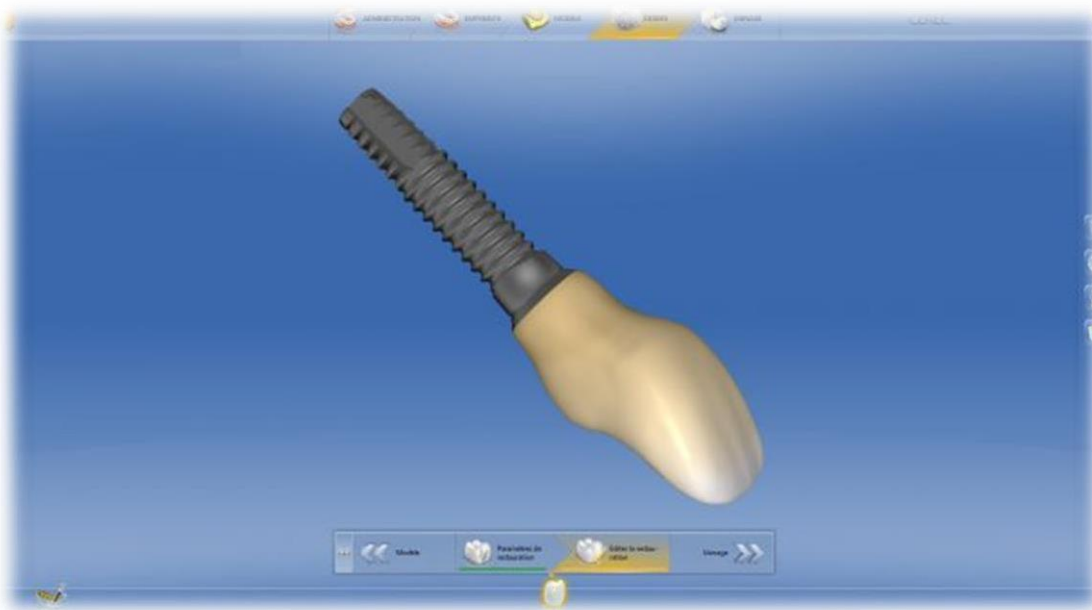


Fig. 55: Les constituants d'une couronne trans-vissée.

Lors d'une mise en fonction différée, l'enregistrement d'un masque gingival permet d'adapter parfaitement le profil d'émergence de la restauration d'usage aux volumes gingivaux péri-implantaires modelés par l'élément de temporisation (pilier de cicatrisation ou couronne provisoire).

4.7 Réalisation de l'élément supra-implantaire :

Qu'il s'agisse d'un pilier de cicatrisation anatomique, d'une couronne provisoire ou d'une couronne d'usage, le principe de réalisation est le même. Il repose sur l'utilisation de blocs de matériau pré-perçés (céramique ou PMMA) et d'embases en titane (TiBase) permettant la confection d'éléments trans-vissés.



Fig. 56 : Les constituants d'une couronne trans-vissée.

Bien entendu, le choix initial d'un axe implantaire idéal simplifie considérablement l'ensemble des étapes de réalisation de ces restaurations implanto-portées trans-vissées. Il est à ce sujet aujourd'hui reconnu que ce type de restaurations est préférable aux restaurations implanto-portées scellées ou collées sur piliers implantaires. En effet, l'élimination des excès sous gingivaux de matériau d'assemblage reste un problème majeur en implantologie, responsable de nombreux cas de péri-implantite.

Cependant, lorsque le contexte clinique l'impose, il est toujours possible de réaliser une prothèse implanto-portée à deux étages. Le pilier implantaire est alors modélisé par réduction homothétique de l'anatomie finale. Le pilier et la superstructure peuvent ensuite être usinés à partir des mêmes données, c'est-à-dire en place le pilier implantaire.

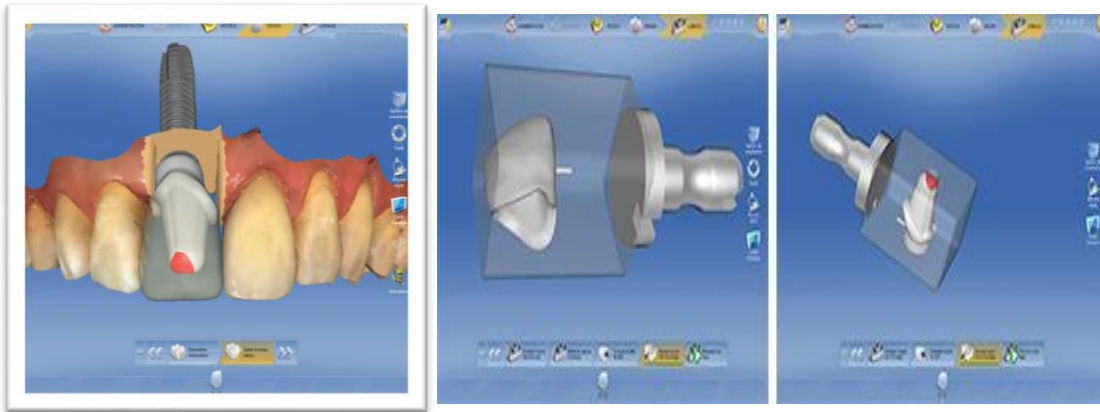


Fig. 57 : La modélisation d'une couronne à deux étages.

4.8 Mise en place et finitions :

La mise en place de la restauration implanto-portée est grandement simplifiée par la rigueur des étapes de modélisation : choix d'un axe d'insertion optimal en fonction de l'anatomie des faces proximales des dents bordant l'implant, respect des tissus péri-implantaires par une compression contrôlée, réglage « numérique » des points de contact proximaux et occlusaux.



Fig. 58 : Comblement du fût de vissage

L'intégration esthétique des restaurations d'usage trans-vissées réalisées par CFAO est exceptionnelle. En effet ces restaurations monolithiques, par opposition aux restaurations céramo-métalliques pour lesquelles la céramique cosmétique doit être soutenue par l'infrastructure métallique, présentent une grande quantité de céramique surplombant le fût de vissage. Le comblement de ce fût par du téflon recouvert de composite permet de masquer totalement l'embase en titane et la vis de trans-fixation.



Fig.59 : Résultat final.

5 La Conception Assistée par Ordinateur CAO :

Cette phase correspond à l'élaboration numérique de la prothèse, c'est-à-dire virtuelle.

Elle peut se subdiviser en deux phases :

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

5.1 PHASE DE TRAITEMENT DES DONNEES :[9_53_36_70]

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.

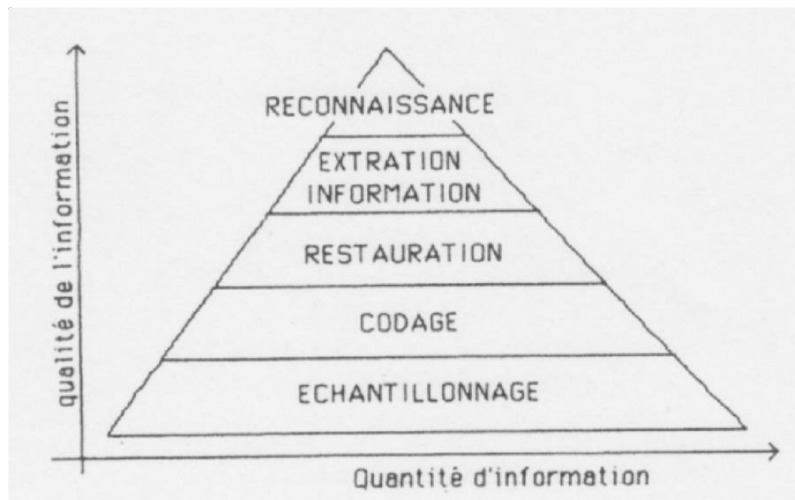


Fig 60 : représentation pyramidale des informations qui composent l'image

L'ensemble des 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 fichier STL pour concevoir la prothèse.

5.2 PHASE DE MODELISATION OU CONCEPTION :[13_35]

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.

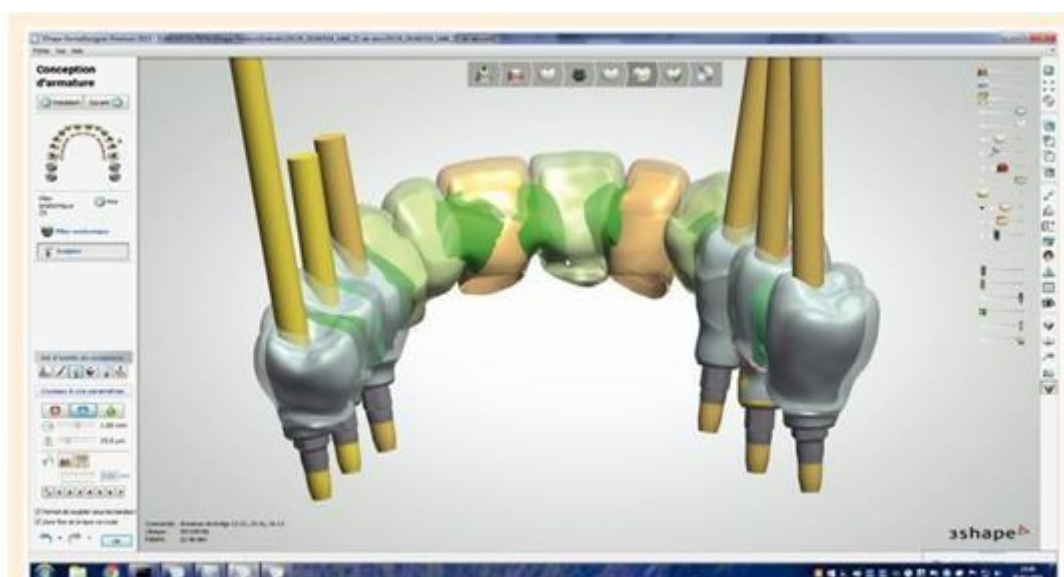


Fig 61 : logiciel de conception ouvert, 3shap

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....

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.

Ainsi dans les laboratoires de prothèse, on voit apparaître des « info-prothésistes » qui se spécialisent donc dans la C.F.A.O.

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.

Encore un autre exemple : c'est dans le cas de réalisation de bridge, les cabinets ne sont pas encore équipés de systèmes de F.A.O. pouvant réaliser les bridges et leurs armatures, de même que l'usinage d'autres matériaux que la céramique n'est pas encore possible en cabinet.

Une nouvelle branche s'est donc ouverte pour les prothésistes grâce à la C.F.A.O.

Une fois la prothèse élaborée virtuellement, il reste la réalisation physique de la prothèse rendue possible grâce aux machines de F.A.O et le choix du matériau détaillé dans les chapitres suivants.

6 La Fabrication Assistée par Ordinateur : [73_19_82]

On distingue pour la production d'éléments prothétiques, deux types de systèmes : les systèmes analogiques et les systèmes numériques.

-**Les systèmes analogiques** : ils ont uniquement la fabrication qui est réalisée par ordinateur. C'est le prothésiste qui réalise un support en cire ou résine.

Il existe deux types de système analogique.

Le pantographe : Un bras de transmission pantographie relie le système de lecture, scannant, par micro-palpage, une pièce à reproduire en matériau provisoire, à un système d'usinage, par fraisage, qui va reproduire la pièce scannée en matériau définitif (métal, céramique, ...)

C'est donc une machine à deux bras articulés, et la pièce usinée est la copie de la pièce provisoire.

L'électroérosion ou usinage par étincelage est un procédé d'usinage par soustraction de matière par décharge électrique. Il faut que le matériau soit conducteur comme le titane et il faut réaliser un modèle en négatif de l'intrados et de l'extrados de la pièce prothétique à réaliser.

-**Les systèmes numériques** : il existe trois catégories de systèmes de CFAO dentaire.

6.1 PROCÉDES SOUSTRACTIFS A PARTIR D'UN BLOC DE MATERIAU : [6_19_77_81_82]

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.

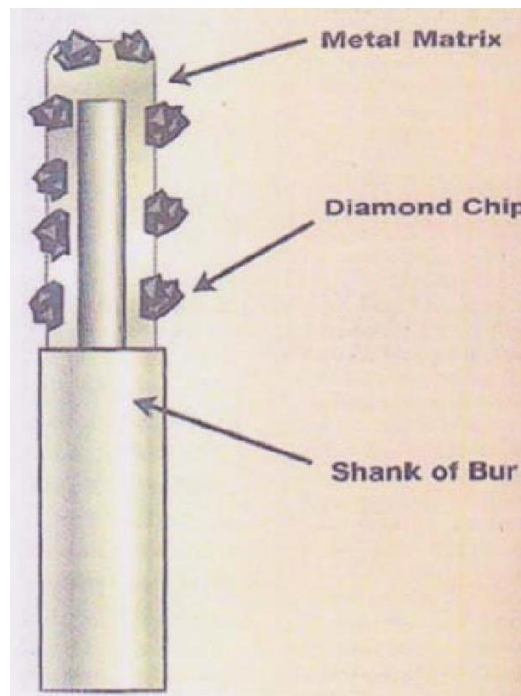


Fig 62 : Schéma d'une fraise diamantée utilisée pour l'usinage

La taille du bloc est prédéterminée en fonction de la taille de la prothèse à réaliser de même que la nature du matériau qui est déterminée selon la nature de la 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.).

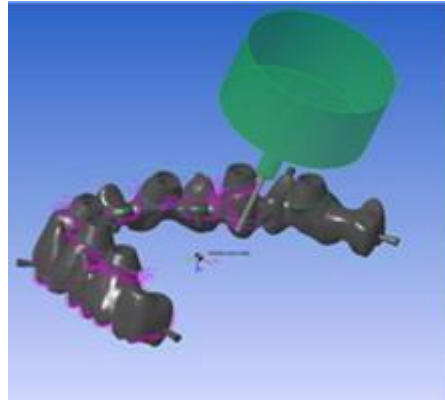


Fig 63: exemple d'un parcours d'usinage généré avec le logiciel de FAO WorkNC

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.



Fig 64: exemple de mouvement 5 axes sur la machine Evrest de Kavo.

L'usinage est la technique de choix pour l'usinage de l'alumine, de la zirconie et de la céramique. C'est également la technique de choix pour la réalisation d'infrastructures supra implantaires.

Toutes les machines-outils à commande numérique peuvent usiner de la zirconie pré-frittée, des matériaux résines calcinables, et des matériaux plastiques pour la réalisation de prothèses provisoires.

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



Fig 65: Unité d'usinage Astra pour piliers Atlantis en titane en Suède.

6.2 PROCÉDES ADDITIFS SUR UNE REPLIQUE DE MOIGNON : [19_57_63_64_72_82]

Certains systèmes (Procera, Wolceram) utilisent des moignons ou carottes pour créer des pièces prothétiques par addition de matériau.

L'addition de matériau permet la réalisation de chapes et d'armatures entièrement céramiques (In-Ceram Alumina, In-Céram Zirconia par Vita)

Pour le système Procera (Nobel Biocare), il y a addition de matériau à partir d'une réplique en métal, copiée et agrandie (20%) de la carotte en plâtre.

Il utilise de la céramique pressée : une chape résulte du compactage de poudre d'alumine ou de zircone à très haute pression, le contour est par la suite usiné.

Pour le système Wolceram (Wol-dent), il y a addition de matériau directement sur la carotte en plâtre par électrophorèse : la céramique (particule négative) migre vers le modèle traité avec un électrolyte (pole positif).

Cette technique permet une augmentation de 30% des propriétés mécaniques de la céramique.

6.3 PROCÉDES ADDITIFS DE FORMAGE LIBRE PAR STRATES :

Il s'agit de machines qui utilisent une adjonction de matériau, donc une addition, qui se dépose par couches successives.

Ces procédés sont utilisés pour des pièces prothétiques complexes impossibles à obtenir par usinage classique ou par coulée.

Cette technique de fabrication permet la production simultanée de pièces de morphologies différentes.

Plusieurs techniques sont utilisées ayant comme base le « prototypage rapide ».

Trois techniques principales sont issues du prototypage rapide : l'impression tridimensionnelle, le frittage sélectif par laser (SLS), et la stéréo lithographie.

6.3.1 L'IMPRESSIION 3D. :

Ces machines (Cynovad avec le WaxPro) permettent la fabrication d'intermédiaires de pièces prothétiques (couronnes, armatures), qui vont servir à la coulée de précision.

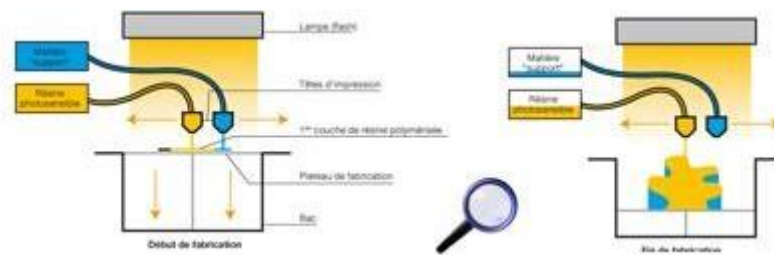


Fig 66: Principe de l'impression 3D.

La machine procède à un dépôt mécanique prédéfini de matière plastique par couches successives qui vont réaliser l'ébauche de la prothèse (à la manière d'une imprimante à jet d'encre) le tout construit sur un plateau.

Ce dépôt de matière est réalisé par une tête d'impression contenant plusieurs buses (multi jets).

6.3.2 PROCÉDES 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.



Fig 67 : exemple de production de modèle en cire

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, de 750 (D66) à 1500 (D76) éléments par mois.

Elle est surtout indiquée pour l'orthodontie.

6.3.3 PROCÉDES PAR INJECTION DE RESINE ET POLYMERISATION PAR ULTRAVIOLETS :

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 (projet DP 3000).

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



Exemple de production de modèles en résine calcifiable



Machine ProJet DP 3000 de 3D Systems

Fig 68 : exemple de production de modèle en résine calcifiable.

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

6.3.4 LE FRITTAGE SELECTIF PAR LASER (Selective Laser Sintering, SLS) OU FABRICATION DIRECTE METAL (FDM).

La machine (Bego avec le système Medifabricating) permet la construction d'une pièce prothétique par addition de couches successives d'un matériau en poudre solidifié par échauffement, grain par grain, par un laser qui va souder les particules entre elles.

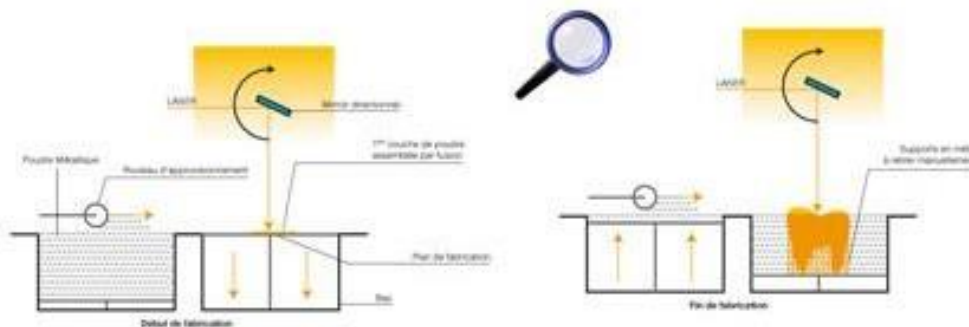


Fig 69 : Principe du frittage sélectif par laser

Cette étape se répète couche par couche. A chaque nouvelle étape, une nouvelle couche de poudre est déposée, puis le processus se répète pour solidifier une strate de matière sur la précédente. Cela se répète jusqu'à l'obtention du produit fini.

Ce procédé s'effectue dans un environnement contrôlé (Azote, Argon...) pour éviter une oxydation possible à haute température.

6.3.5 LA STERÉOLITHOGRAPHIE : [73_19_82]

Elle utilise comme procédé la réalisation d'une pièce prothétique intermédiaire obtenue par une résine liquide photosensible polymérisée par un laser ou une lumière adaptée.

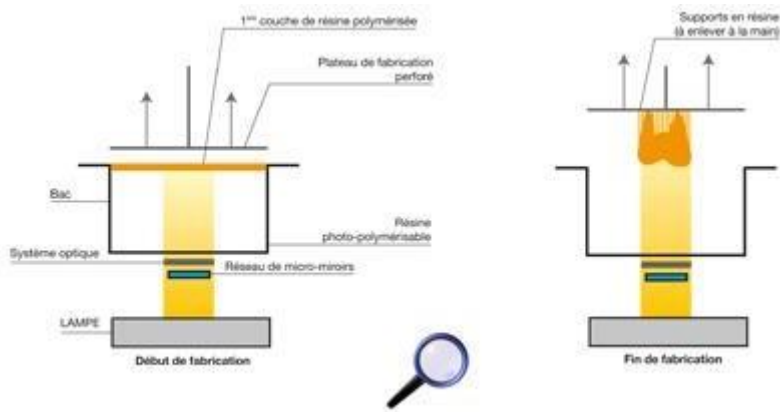


Fig 70: Principe de la stéréolithographie.

La technologie DLP (Direct Light Project) projette l'image d'une strate qui se durcit. Un processeur de lumière numérique, qui contient un million de miroirs numériques, est orienté sélectivement, soit vers la source de lumière qui va durcir la résine, soit dans une autre direction pour bloquer la lumière.

La source de lumière ainsi projetée sélectivement, va durcir la matière par strates successives.

Le tout est construit sur un support en forme de tige qu'il faudra enlever par la suite manuellement.

La pièce prothétique ainsi obtenue en résine calcinable peut donc être coulée dans un alliage désiré par la technique conventionnelle.

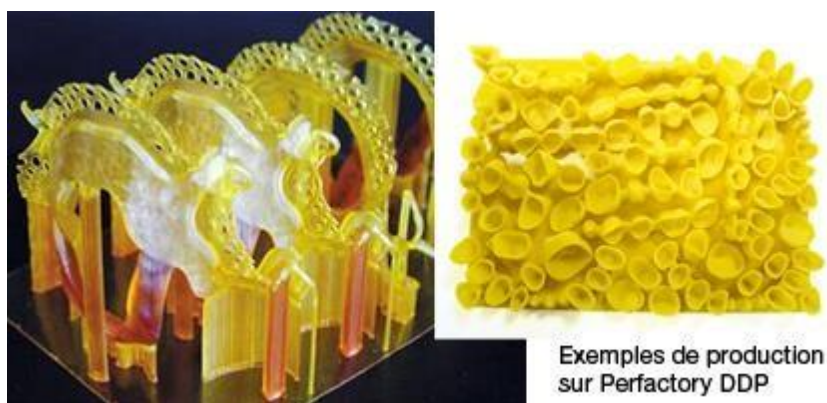


Fig 71 : Exemple de production sur perfactory DDP

On peut donc résumer l'ensemble de ces techniques

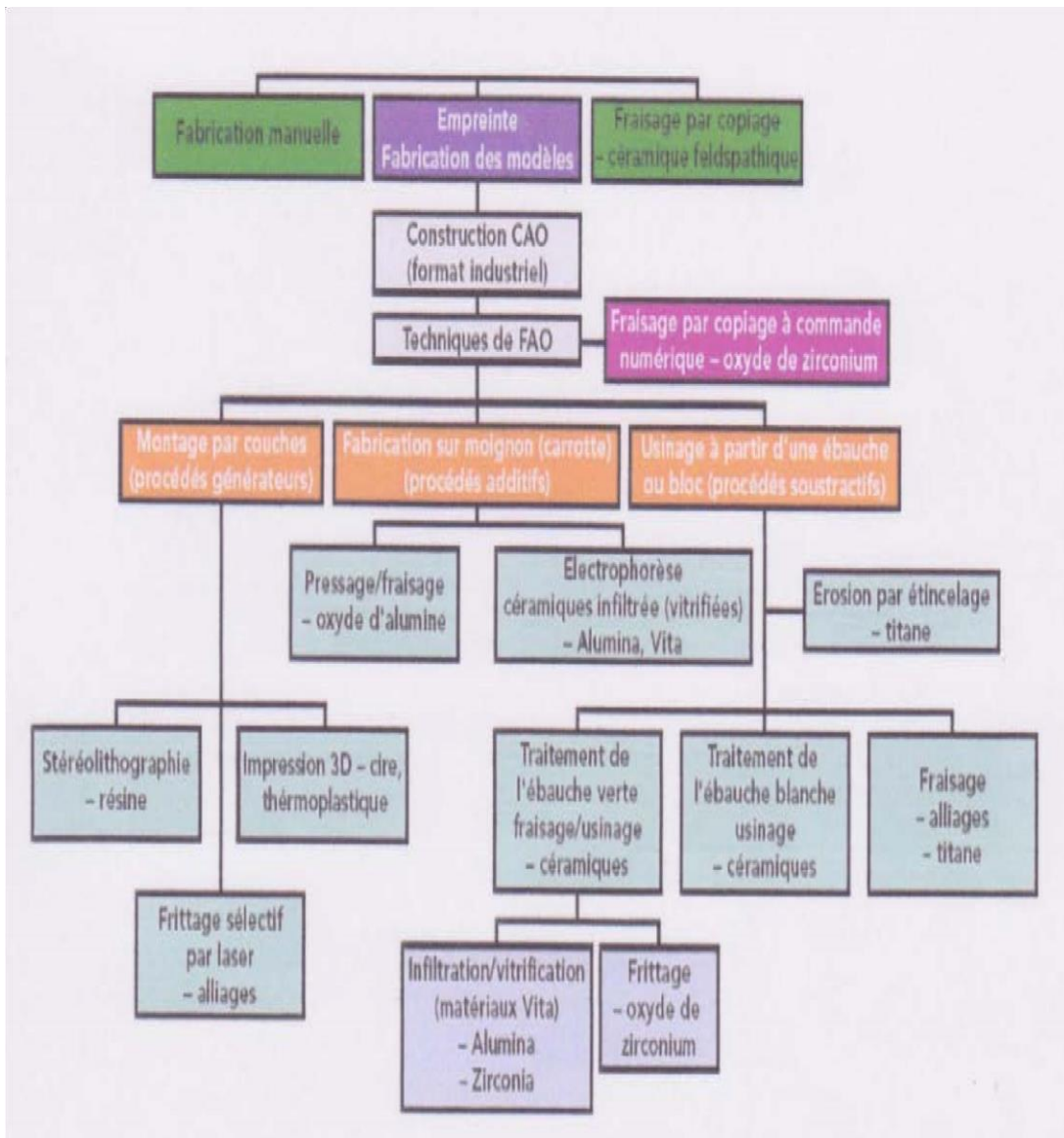


Fig 72 : Résumé en graphique des technologies de la CFAO dentaire

Ces différentes techniques ont donc plusieurs indications prothétiques

TECHNIQUES de fabrication	Usinage			Fabrication additive		
	3 axes	4 axes	5 axes	imp. 3D	stéréo.	micro-fusion
Waxup						
Couronnes, chapes, briges	XX	XX	XX	XXX	XXX	
Inlays/Onlays	XX	XX	XX	XX	XX	
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XX	X	X	
Barres sur implants		X	X	X	X	
Châssis métalliques (amovibles)				XXX	XXX	
Composants orthopédiques				XXX	XX	
Zircone						
Couronnes, chapes, briges	XXX	XXX	XXX			
Inlays/Onlays	XXX	XXX	XXX			
Implantologie (moignons, piliers...)		X	X			
Barres sur implants		X	XXX			
Cobalt-Chrome						
Couronnes, chapes, briges	XX	XX	XX			XXX
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XXX			X
Barres sur implants		X	XXX			X
Châssis métalliques (amovibles)						XX
Titane						
Couronnes, chapes, briges	XXX	XXX	XXX			X
Implantologie (moignons, piliers...)		XX	XXX			X
Barres sur implants		X	XXX			X
Châssis métalliques (amovibles)						X

Tableau 2: Indications prothétiques en fonction des techniques de fabrication

X = Peu adapté

XX = Adapté

XXX = Bien adapté

Chapitre IV :
La chaîne
numériques de la
CFAO

1 Les manières possibles de traiter l'information de l'empreinte : [1]

En effet, il y a trois manières possibles de traiter l'information de l'empreinte. On parle de CFAO directe, semi-directe et indirecte, en fonction des lieux où s'effectuent chaque étape de la chaîne de CFAO.

1.1 CFAO directe [11-60-14-54-47]

La CFAO directe est la conception et fabrication assistée par ordinateur d'éléments prothétiques en une seule séance par le praticien et son équipe, sans passer par le laboratoire de prothèse. En anglais, le terme utilisé est Chair side Cad-Cam. Le système de numérisation fait appel à une caméra numérique qui remplace l'empreinte traditionnelle. Le logiciel traite les données en concevant informatiquement la pièce (le plus souvent un inlay/onlay). Enfin, l'unité de production est localisée dans le cabinet dentaire : la machine fabrique la pièce en usinant un bloc (le plus souvent en céramique) à partir des données issues du traitement du logiciel.

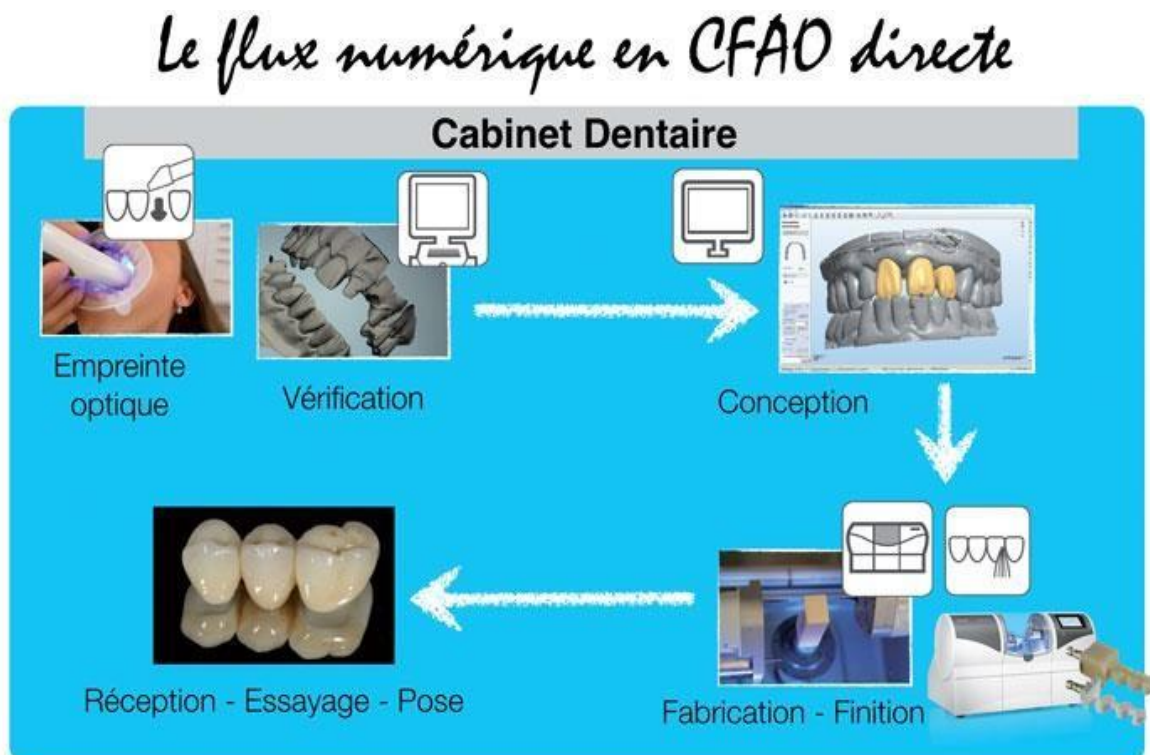


Fig 73 :le flux numérique en cfao directe directe [11]

Nous connaissons un système complet, le système Cerec®, commercialisé par Sirona® qui permet d'avoir à la fois :

- **Une caméra intra-buccale** : (essentiellement Bluecam® et Omnicam® avec Cerec®) permettant de réaliser l'empreinte optique,
- **Des logiciels** : qui traitent les informations acquises par la caméra optique, permettant la CAO et le pilotage de la machine-outil qui réalise la pièce prothétique par usinage (FAO) de blocs céramiques ou autres matériaux (résines, métaux...). On ne démarre cependant qu'UN seul logiciel, ce qui permet une simplification du système.
- **La machine-outil** : (usineuse InLabSirona®), équipée de 2 moteurs présentant 2 jeux de 2 fraises (pour ce modèle) permettant l'usinage

dans 5 axes différents.



Fig 74 :Système Cerec complet; usineuse MCXL, caméra omnicam, unité informatique. [40]

Cette technique ne permettant qu'un usinage de pleine masse de blocs de céramique ou de matières synthétiques, la machine du praticien fabrique en méthode directe des inlays, onlays, facettes céramiques, couronnes unitaires ou bridges.

Ce type de chaîne numérique, ainsi que la chaîne de CFAO semi-directe, sont des techniques d'avenir. En effet, les nombreux avantages qu'elles apportent en font des techniques de choix, sachant qu'un praticien qui possède un système « chairside » peut tout à fait faire de la CFAO semi-directe pour les cas complexes, en collaboration avec son prothésiste.

En ce qui concerne la CFAO directe, les acquisitions intraorales permettraient d'obtenir des niveaux d'exactitude de même ordre que ceux des empreintes conventionnelles. Si cette technique évite de réaliser des empreintes physiques, elle comporte des sources d'erreurs propres liées au milieu buccal (les dents, les reconstitutions, les tissus parodontaux et la présence de sang ou de fluide gingival), aux mouvements du patient (tête et mâchoire), à des perturbations extérieures (luminosité de la salle de soins) et à la manipulation de la caméra par l'opérateur (stratégie et vitesse de parcours de la caméra).

Il est important de noter que la suppression du modèle physique n'est pas un but en soi. Il est possible d'obtenir un modèle physique, indispensable pour la réalisation de pièces prothétiques en céramique stratifiée par exemple.

1.1.1 Protocole clinique en CFAO directe

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 peut être considérablement réduit en fonction de l'expérience de l'opérateur, de l'unité d'usinage employée et du degré de finition choisi.

Les temps d'usinage (entre 6 et 20 minutes) et le temps de cuisson lié au maquillage (15 minutes) permettent au praticien de réaliser d'autres actes, soit sur le même patient, soit sur un autre. C'est une nouvelle forme de gestion du temps de travail.

1.2 La CFAO semi-directe [12-14]

En ce qui concerne la CFAO semi-directe, une empreinte optique est prise au cabinet par le chirurgien-dentiste puis les données sont envoyées par internet au prothésiste qui va pouvoir effectuer la CAO et la FAO et renvoyer la pièce prothétique terminée au praticien. Cette chaîne numérique permet donc de s'affranchir de l'empreinte conventionnelle et du modèle en plâtre qui en découle. Grâce à cela, on élimine de nombreuses erreurs et on gagne en précision.

Il y a également une simplification de la chaîne de réalisation et donc un gain de temps. De plus, ce procédé permet au praticien d'utiliser la CFAO à moindre coût, puisqu'il y a seulement le système d'empreinte optique à acheter.

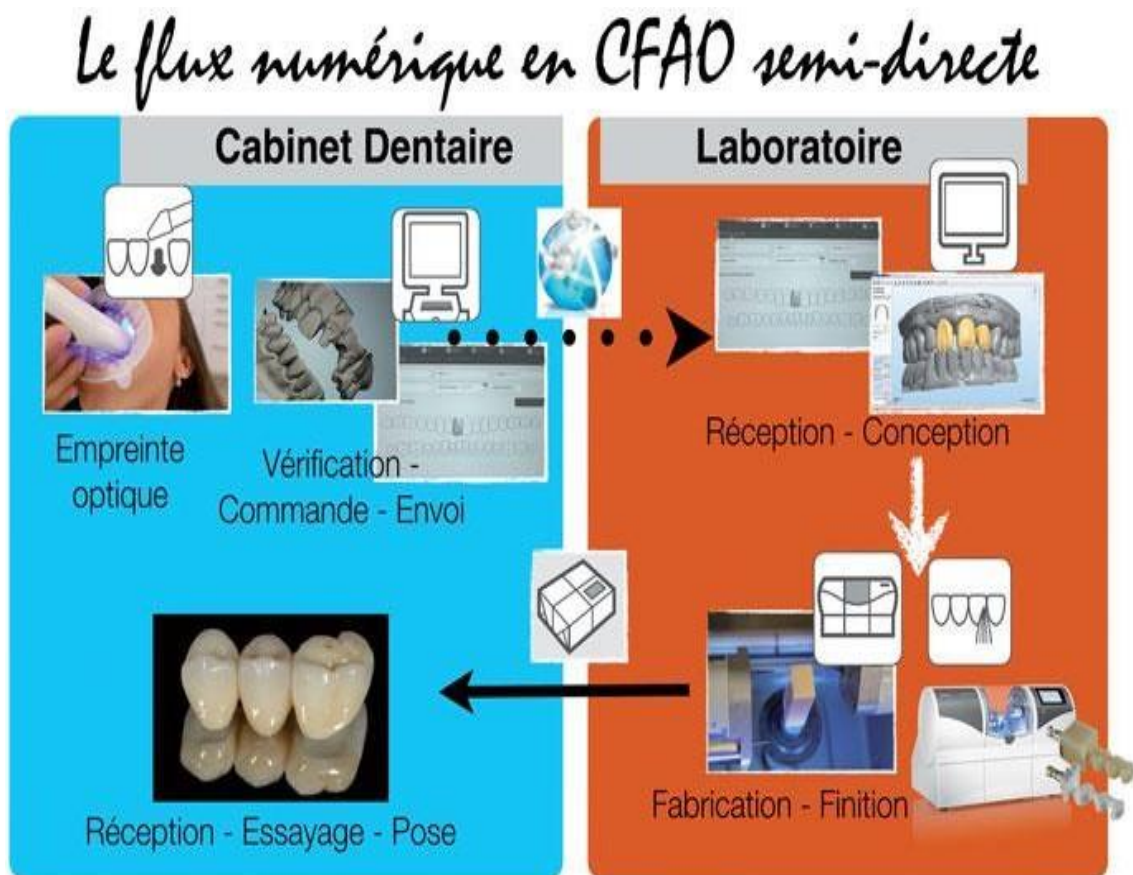


Fig 75 : le flux numérique en cfao semi directe [11]

1.3 La CFAO INDIRECTE : [4-12-20-44-68]

Pour la CFAO indirecte, le chirurgien-dentiste ne change pas ses habitudes par rapport à la chaîne prothétique classique. C'est-à-dire qu'il va prendre une empreinte conventionnelle, avec un matériau d'empreinte adapté. Cette empreinte sera ensuite envoyée au laboratoire de prothèse, qui va couler le modèle en plâtre correspondant. Ce sont les étapes suivantes qui vont faire que l'on se trouve dans une chaîne numérique. En effet, le prothésiste va scanner le modèle en plâtre grâce à un scanner de table, puis il va pouvoir effectuer la conception de la pièce prothétique sur ordinateur et utiliser une technique de FAO pour réaliser la pièce prothétique.

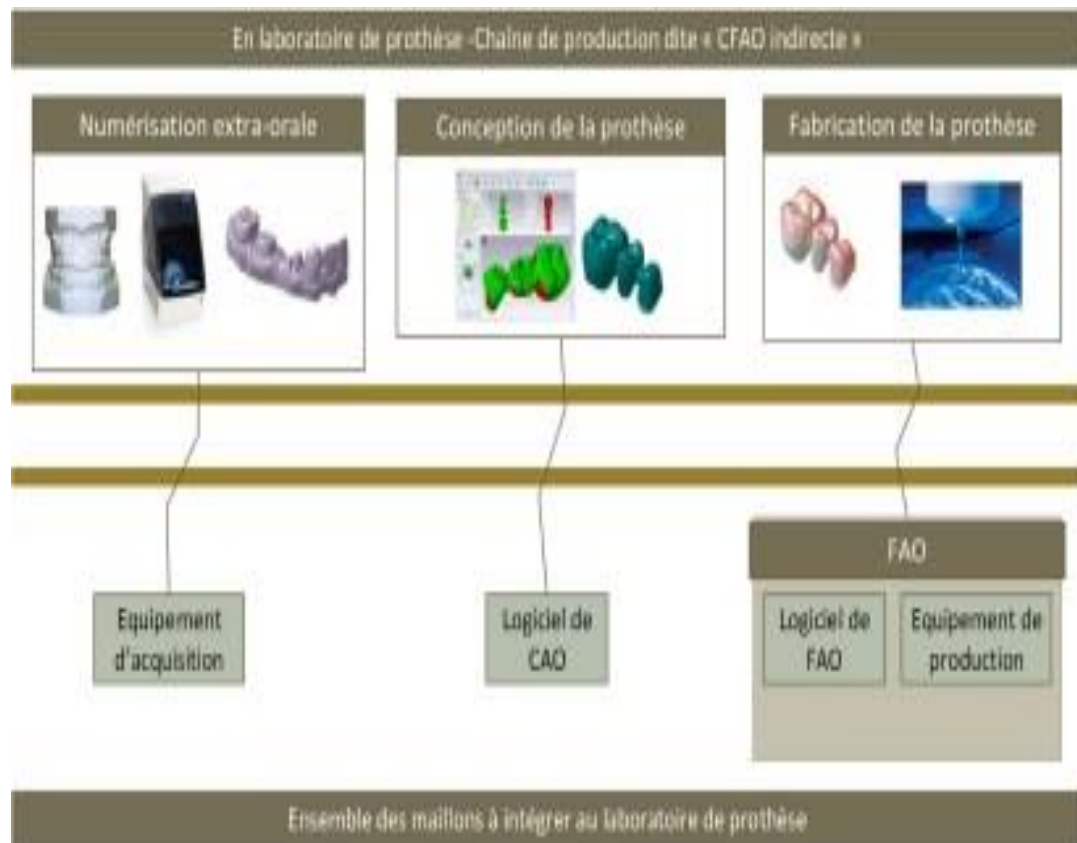


Fig 76: le flux numérique en cfao indirecte [20]

Pour la numérisation des modèles en plâtre, il existe différents types de scanner : par balayage lumineux ou par prise successive de clichés.

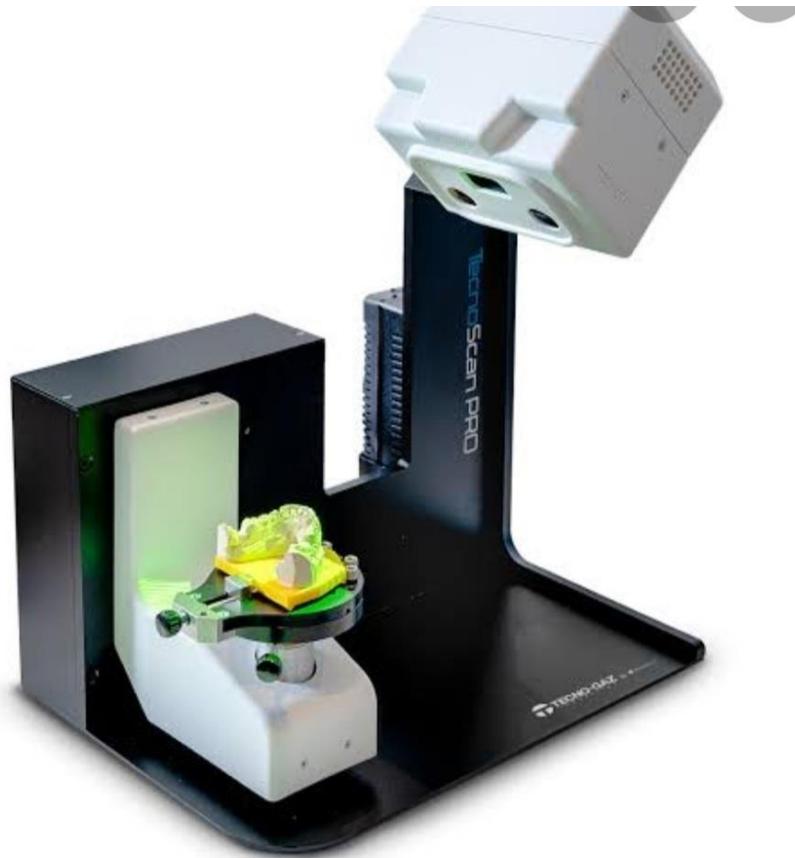


Fig 77 : Scanners de table [46]

Il y a 3 étapes de modélisation 3D par scanner, ce qui permet d'avoir une meilleure précision :

- On débute par l'**acquisition** d'une image basse définition des modèles (de l'arcade contenant la ou les préparation(s) et des dents adjacentes).
- Puis on réalise une **numérisation** haute définition qui se concentre juste sur la zone de travail. L'objectif étant d'avoir le maximum de détails permettant une image 3D servant de support à la future modélisation de la prothèse fixée.
- Et pour terminer, on effectue le **scannage des modèles** maxillaire et mandibulaire **en occlusion** ou de l'empreinte en mordu.

Cette acquisition permet de réaliser un maître modèle virtuel sur lequel les différents éléments prothétiques (essentiellement des infrastructures) sont modélisés. C'est l'étape de CAO. Les éléments prothétiques sont ensuite usinés par une machine-outil qui peut être sur place ou délocalisée. C'est l'étape de FAO.

Un choix non exhaustif de matériaux par cette technique: céramique feldspathique, zircone, titane, céramique hybride, chrome cobalt etc. ...

La CFAO indirecte permet au chirurgien-dentiste d'éviter des investissements lourds mais elle n'empêche pas les erreurs dues aux empreintes conventionnelles. C'est une technique assez répandue de nos jours, car les laboratoires de prothèses sont majoritairement équipés pour réaliser le scannage, la CAO et la FAO mais il ne s'agit pas d'une technique d'avenir...



Tableau 3 : les différentes chaînes numériques en CFAO [71]

2 Les innovations Attendues

Après avoir vu les perspectives imaginées par François Duret puis l'apport de la CFAO dans les autres domaines, nous allons pouvoir nous intéresser à l'avenir de la CFAO dans notre domaine, grâce aux différentes innovations qui sont attendues. Nous pourrions également déterminer quels sont les difficultés que la CFAO dentaire doit encore surpasser.

2.1 Détection des tissus durs sous-gingivaux : [10-17-28-41-67]

Nous pouvons penser que l'avenir des empreintes optiques résidera dans la possibilité de visualiser des éléments sous-gingivaux, ce qui éviterait le recours aux techniques d'accès aux limites qui sont actuellement nécessaires en cas de limites intrasulculaires.

En effet, actuellement, les caméras intra-orales n'enregistrent que ce qu'elles voient, c'est à dire qu'une limite intrasulculaire (ou bien une limite cachée par de la salive ou du sang) ne pourra pas être enregistrée sans les précautions nécessaires.

Comme nous l'avons vu précédemment, François Duret imaginait déjà une empreinte optique secondaire, qui permettrait d'enregistrer à la fois les limites intrasulculaires, l'os sous-jacent et les structures anatomiques (nerf, sinus...)

Une société américaine, S-Ray, a développé un système d'empreinte par ultrasons en 2015. Le but recherché par cette entreprise était de trouver un moyen d'éviter l'utilisation des rayons X pour les radiographies dentaires.

Le système ClearView SCAN/R a donc été mis au point dans cette optique et permet de visualiser à la fois les dents et l'os sous-jacent.

Cette innovation se rapproche donc de ce qu'imaginait François Duret dans sa thèse, avec l'empreinte optique secondaire.



Fig 78 : porte empreinte ClearView SCAN/R de S-Ray [14]

Lors de l'IDS (International Dental Show) 2018, la société Voco a présenté un prototype de caméra intra-orale, appelée IO-Scan, qui permettrait de visualiser les tissus durs sous gingivaux.

En effet, cette caméra utiliserait une méthode d'enregistrement basée sur l'holographie numérique par infrarouge. Les rayons infrarouges délivrés par la caméra pourraient traverser la gencive, la salive ou le sang, se réfléchir sur les tissus durs dentaires sous-gingivaux et être enregistrés par la caméra à leur sortie.

Donc grâce à cette technique, l'enregistrement des limites de préparations intrasulculaires serait grandement simplifié.

La caméra IO-Scan de Voco n'est qu'un prototype pour le moment, sa commercialisation étant annoncée courant 2018, mais elle promet de grandes avancées pour la CFAO dentaire.

2.2 Porte-empreinte optique d'arcade complète : [49-56-62]

Une autre amélioration nous paraît importante pour l'avenir : un porte-empreinte optique d'arcade complète. En effet, grâce à ce type de porte-empreinte, il serait possible de réaliser une empreinte optique d'une arcade en une seule fois et en très peu de temps, sans déformation.

Un prototype de ce type a été présenté par la société Luxembourgeoise Medentic, à l'IDS en.

Ce porte-empreinte optique d'arcade complète, appelé iTray, posséderait de nombreux capteurs optiques permettant d'enregistrer les informations de toute l'arcade et de les transmettre directement en 3D à l'ordinateur. Si la commercialisation d'un tel porte-empreinte voit le jour, il s'agirait d'une innovation majeure dans le domaine, qui permettrait d'étendre encore les indications des empreintes optiques.

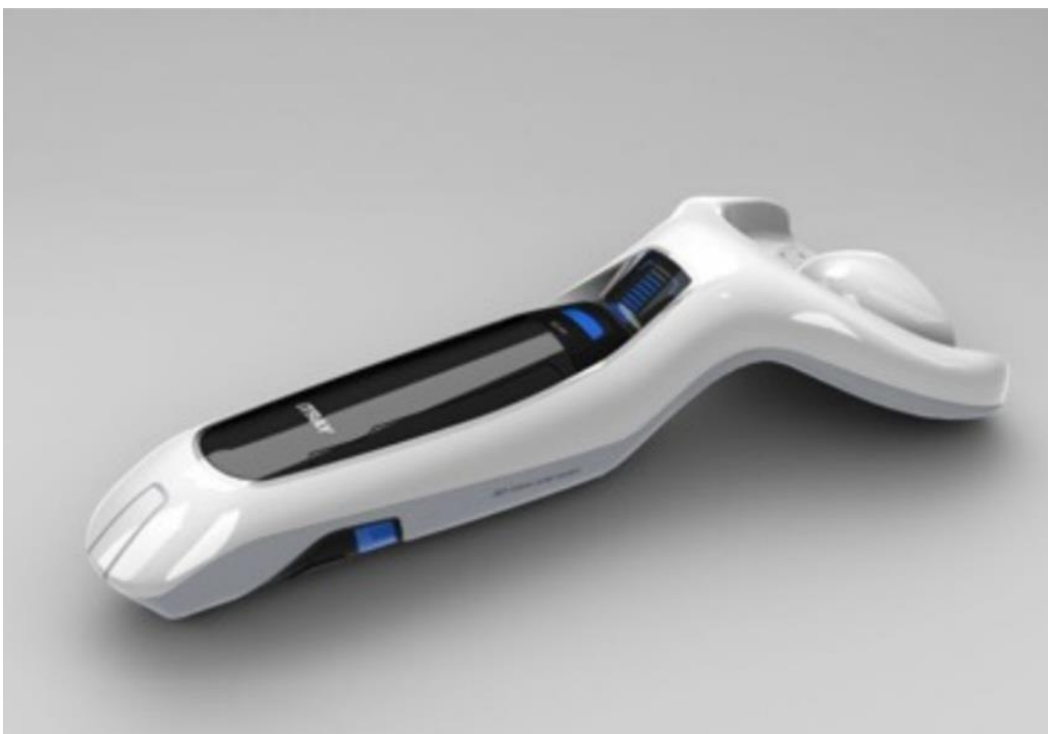


Fig 79 : prototype iTray de Medentic : porte-empreinte optique d'arcade complète [56]

Le système ClearView SCAN/R dont nous avons parlé dans le chapitre précédent possède également l'avantage d'être une porte-empreinte optique d'arcade complète.

Avec de tels porte-empreintes, il serait possible de réaliser absolument tous les types de prothèse par CFAO : aussi bien les couronnes, que les Prothèses Partielles Amovibles et même les Prothèses Amovibles Complètes. Ce type d'empreinte permettrait également de gagner en rapidité, ce qui est un avantage considérable.

2.3 Usineuse laser : [10-22-28-50-83]

Une autre innovation est en train de se développer : il s'agit d'une usineuse laser.

En effet, Dental Wings a présenté la Lasermill lors de l'IDS de 2017. Cette usineuse utilise des millions d'impulsions laser de haute intensité pour sculpter un bloc de matériau au lieu d'utiliser des fraises. Nous pouvons noter que François Duret avait déjà évoqué cette idée dans sa thèse, comme nous l'avons vu précédemment.



Fig 80 : Usineuse laser : Lasermill de Dental Wings [58]

Les avantages d'un tel système sont multiples. Tout d'abord, il permet une plus grande précision d'usinage (une résolution plus de dix fois supérieure aux machines d'usinage classique selon Dental Wings).

Ensuite, il est plus économique car il ne nécessite pas l'utilisation de fraises, cela évite donc les coûts de remplacement des fraises usées.

De plus, cette usineuse laser possède un scanner 3D intégré permettant d'effectuer un contrôle-qualité de la pièce au cours de l'usinage ainsi qu'à la fin. Il s'agit donc d'une machine plus rapide, plus précise et pouvant usiner différents types de matériaux : aussi bien les composites, que les céramiques ou les céramiques hybrides.

Selon Dental Wings, les indications de l'usineuse Lasermill sont très étendues : couronnes, inlays, onlays, facettes et même bridges trois éléments. Depuis la présentation de cette usineuse à l'IDS de 2017, Dental Wings promet sa commercialisation prochaine.

Même si elle se fait attendre, cette innovation promet de grandes avancées pour la CFAO dentaire de demain.

2.4 Articulateur virtuel :[21-66-75]

Un autre progrès qui va certainement s'accroître concerne les articulateurs virtuels. En effet, il est désormais possible, avec certains systèmes, d'enregistrer les mouvements du patient virtuellement.

Cela évite donc la manipulation de modèles en plâtre et leur montage en articulateur.

De plus, ces techniques apportent plus de précision qu'une simple prise de vue des arcades en occlusion par une caméra intra-buccale.

Nous pouvons citer le système Jaw Motion Analyser de Zebris, qui est un système de capture des mouvements mandibulaires par ultrasons et qui permet aussi d'enregistrer l'enveloppe limite des mouvements.

Il est composé de deux éléments : un arc inférieur comportant trois émetteurs d'ultrasons, relié à une fourchette positionnée au niveau de l'arcade mandibulaire ; un arc supérieur comportant quatre récepteurs à ultrasons et fixé à l'aide d'un appui nasal et d'une lanière à appui pariétal. Nous pouvons observer ce système sur l'illustration ci-dessous.



Fig 81 : Système Jaw Motion Analyser de Zebris [75]

Après avoir installé tout le dispositif, il est demandé au patient d'effectuer des mouvements mandibulaires (ouverture/fermeture ; diduction, propulsion...) qui sont automatiquement enregistrés et transmis sur ordinateur. Les données recueillies par cet articulateur virtuel peuvent ensuite être exportées sous la forme d'un fichier XML (eXtensible Markup Language) et intégrées au logiciel de CAO utilisé pour la conception prothétique.

Les articulateurs virtuels de ce type sont déjà commercialisés mais leur utilisation n'est pas très répandue. On peut espérer que dans l'avenir, avec la numérisation de notre profession, ils feront partie des outils de base du cabinet.

2.5 Télédentisterie : [10-38-65-69]

Pour finir, une des perspectives d'avenir possibles pour la CFAO dentaire semble être la télédentisterie.

Nous pouvons parler du projet e-DENT, qui est un exemple même de télédentisterie. En effet, depuis 2014 en Languedoc Roussillon, l'ARS (Agence Régionale de Santé) a mis en place un programme de télédentisterie dans les maisons de retraite. Une infirmière formée manipulera une caméra intra-buccale afin de recueillir des images précises de l'état bucco-dentaire des résidents.

La caméra utilisée est la Soprocare de Acteon : elle permet de filmer les arcades, de réaliser des prises de vue en mode macro mais également de repérer les lésions carieuses, les inflammations gingivales et la plaque. Toutes les données recueillies seront ensuite envoyées au CHU de Montpellier pour être analysées par des chirurgiens-dentistes, qui poseront un diagnostic et proposeront un plan de traitement.

Le même type d'application se fait dans notre région depuis avril 2018. En effet, une infirmière utilise le même type de caméra que pour le projet de Montpellier et prend des clichés intra-oraux des résidents de certains centres ADAPEI (association départementale de parents et amis de personnes handicapées mentales) dans la région Midi-Pyrénées.

Les images sont ensuite transmises au CHU de Toulouse, où elles sont analysées par le Dr Michel Sixou et le Dr Maret-Comtesse, afin de hiérarchiser la prise en charge des patients et de définir l'urgence.

Ce système de télédentisterie permet donc de mieux organiser le parcours de soins des personnes âgées mais également d'avoir un suivi bucco-dentaire régulier. Avec les déserts médicaux qui se répandent en France, la télédentisterie (et même la télé-médecine en générale) sont donc des pratiques d'avenir

Le Dr Jean-Luc Berruet imagine la mise en application de la télédentisterie dans son article. Le patient du futur pourrait se présenter au cabinet, une assistante lui ferait passer un conebeam, prendrait des empreintes optiques intra-buccales, enregistrerait ses mouvements avec un articulateur virtuel, prendrait des photographies extra-orales...

Tout cela dans le but d'obtenir une représentation du patient en 4D, avec tous les éléments nécessaires au diagnostic enregistrés et transmis au praticien.

Celui-ci pourrait donc préparer la consultation en amont, grâce à toutes ces informations. Ce système aurait également une valeur médico-légale puisque l'on pourrait conserver les représentations 4D du patient sur ordinateur.

On aurait donc une véritable base de données de la denture et de l'évolution de chaque patient.

Cela pourrait servir pour la réalisation de prothèses futures, en se basant sur la forme des dents naturelles initiales. Concernant les perspectives de la CFAO, nous pouvons donc remarquer que François Duret avait une vision plutôt juste de l'avenir, puisque de nombreuses idées qu'il a eu se sont finalement réalisées ou sont sur le point d'être réalisées, comme l'usinage par laser, l'empreinte optique secondaire, les applications multiples de la CFAO dans les autres domaines...

Grâce à cette analyse des applications et des innovations dans le domaine de la CFAO, nous avons pu voir que rien n'est encore fixé, la CFAO a encore de nombreux progrès à faire et l'avenir sera riche en nouveautés, pour perfectionner encore plus notre pratique.

CONCLUSION

La CFAO dentaire a mis 40 ans pour devenir aujourd'hui incontournable en prothèse dentaire.

En effet, Cette dernière ne change pas nos processus cliniques. En revanche, elle simplifie toutes nos étapes de réalisation de la prothèse dentaire.

Cet unique est l'apport majeur de la CFAO, c'est la mise en application d'une dentisterie moderne numérique en fonction des exigences du patient, de la communication et de la confiance qui peut s'établir avec l'équipe soignante, ainsi que de la rapidité de mise en œuvre, cette technologie constitue un outil précieux ! Avec des séances plus efficaces et confortables, les patients ont la sensation d'un traitement sur mesure et réellement personnalisé.

La révolution numérique est donc bien amorcée dans notre domaine mais il faut tout de même être vigilant car nous avons vu ses côtés positifs mais, comme toute chose, elle comporte aussi des points négatifs. En effet, cette révolution numérique risque de changer notre pratique et les rapports que les chirurgiens-dentistes entretiennent avec les prothésistes. Il faut donc que cela se fasse en douceur et dans le respect des principes fondamentaux de notre pratique.

Actuellement, l'offre évolue vers la conception et la fabrication numériques de prothèses dentaires sur implants mais pour atteindre cet objectif et après avoir passé en revue tous les moyens de CFAO mis à notre disposition, on se rend compte qu'il est donc très difficile de faire une synthèse, sauf si on est réellement un spécialiste en CFAO Une réactualisation permanente doit être faite.

BIBLIOGRAPHIE

1. Acquisition numérique, CFAO dentaire : origines , évolutions et perspectives par AUDE MAILLARD le 02 octobre 2018 . université Toulouse)
2. Aeran H , Kumar V , Seth J. Computer Aided Designing-Computer Aided Milling in Prosthodontics : A Promising Technology for Future . IJSS.2014 .
3. Alfarsi Ma , Okutan HM, Bickel M. CAD/CAM to fabricate ceramic implant abutments and crowns : a preliminary in vitro study. Aust dent .J.mars2009 ;54(1) :12-16)
4. ALLARD Y, CASU J-P, HOLLENDER M, RICHELME J. La CFAO indirecte. Inf Dent. mai 2014; 9), 96(20):22
5. AllumSR . Immediately loaded full-arch provisional implant restorations using CAD/CAM and guided placement : maxillary and mandibular case reports Br Dent J.12 avr 2008 ;204(7) :377-381
6. ANDERSSON M, CARLSON L, PERSSON M. accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system.
7. Attal, J. and G. Tirlet, La CFAO, ce qui change pour le praticien. Réalité Clinique, 2009. 20(4): p. 215-218.
8. *Avantages et inconvénients de l’empreinte optique selon la littérature (Janvier 2007 – Juin 2017) (11)*
9. BENNASAR B, FAGES M, MARGERIT J. La CFAO pour la réalisation des maquettes de fonderie en prothèse fixée.
10. Berruet J-L. Après l’IDS 2017 et avant l’IDS 2019 : un état de l’art sur l’empreinte optique. Dental Tribune version française. nov2017;24-7.]
11. Bertrand arcaute et karim nacer le fil dentaire le 22 mars 2017)
12. Bie C. L’EMPREINTE OPTIQUE AU CABINET DENTAIRE [Internet]. UNIVERSITE TOULOUSE III; 2015 [cité 29 nov 2017].

- 13.**BLONDEELS. Bridge zircone : du scannage à la stratification. Technologie dentaire, N°263, 10/08 : p 28-38.
- 14.**Cazier S, Moussally C. Descriptif des différents systèmes d’empreinte optique. Rev Odont Stomat [Internet]. mai 2013 [cité 1 déc 2017];42(2).
- 15.**Cetik et al., « Adaptation of zirconia crowns created by conventional versus optical -impression : in vitro study ».
- 16.**Christian MOUSSALLAY ,Dentalspace le 04-05-2017.
- 17.**ClearView SCAN/R [Internet]. S-ray the Ultrasound Solution. [cité 23 mars 2018].
- 18.**Clément M, Noharet R, Viennot S. *Réalisation clinique d'une prothèse fixée unitaire :optimisation du resultat esthétique EMC- médecine buccale 2014 ;0(0) :1-17 (article 28-815-L-90)*
- 19.**CNIFPD guide de la CFAO
- 20.**Cours 4eme année fac blida par dr.ayad
- 21.**Cruces A. Les articulateurs virtuels [Internet]. [Lille]: Université du droit et de la Santé Lille 2 faculté de chirurgie dentaire; 2016 [cité 26 mars 2018].
- 22.**Dental Wings. Dental Wings Lasermill - Interview by Newcom Business Media at JDIQ Montréal, 2017 [Internet]. 2017 [cité 25 mars 2018].
- 23.**Digital Dentistry: S-RAY to Replace X-Ray [Internet]. [cité 23 mars 2018].
- 24.**Duret et Pélissier., Différentes méthodes d’empreinte en CFAO dentaire, 201
- 25.**DURET F , PELISSIER B , DURET B . Les différentes méthodes de prise d’empreintes pour la CFAO . stratégier prothétique,Novembre 2003.
- 26.**DURET F , PELISSIER B , DURET B . Peut-on envisager de faire des empreintes optiques en bouches ? Stratégie prothétique Février 2005 , Volume 5 .

- 27.**DURET F , PELISSIER B , FAGES M. Empreintes optiques et perspectives d'avenir , Stratégie prothétique , September – October 2010,10(4) : p 239-247 .
- 28.**Duret F. Empreinte optique. [Lyon]: Claude Bernard; 1974
- 29.**Duret, F., B. Duret, and B. Pelissier, CFAO, Histoire
- 30.**Duret, F., B. Duret, and B. Pelissier, CFAO, le Temps des démonstrations. Information dentaire, 2007. 29: p. 1663-1668.
- 31.**Duret, F., La CFAO dentaire trente ans après. Profession Chirurgiendentiste, 2003. 02(2): p. 5-9
- 32.**Duret, F., www.francois-duret.
- 33.**Einzelzahnversorgung, V., &Präparation, M. (2008). All-ceramic single-tooth restorations : Choosing the material to match the preparation–preparing the tooth to match the material. *International journal of computerizeddentistry*, 11, 241-256
- 34.**ENNASAR B., RAYNAL J. La couronne Vprep prémolaire. Dentoscope [Internet]. octobre 2015 [consulté le 28 décembre 2016].
- 35.**FAGES M, RAYNAL J, MARGERIT J. La CFAO directe aujourd'hui, principes généraux.
- 36.**FRAYSSE O. Acquisition des données topographiques dans les systèmes de CFAO en prothèse fixes.
- 37.**Galibourg A . Le numériques en prothèse fixée .2016
- 38.**Giraudeau N, Valcarcel J, Tassery H, Levallois B, Cuisinier F, Tramini P, et al. Projet e-DENT : téléconsultation bucco-dentaire en EHPAD. *EuropeanResearch in Telemedicine / La Recherche Européenne en Télémédecine*. juin 2014;3(2):51-6.

- 39.** HELVEY GA. Classifying Dental Ceramics: Numerous Materials and Formulations Available for Indirect Restorations. *CompendContinEduc Dent* 15488578. janv2014;35(1):38-43. DEJOU J. Les céramiques. [Internet]. 2010 [consulté le 29 mars 2016].
- 40.** Henry Schein. Sirona Cerec [Internet]. c2017 [consulté le 6 septembre 2016]
- 41.** Inc B. BIOLASE Announces Memorandum Of Understanding With S-Ray To Market, Sell Disruptive Radiation-Free Dental Imaging Device [Internet]. CISION PR Newswire. 2018 [cité 23 mars 2018]. memorandum-ofunderstanding-with-s-ray-to-market-sell-disruptive-radiation-free-dental-imagingdevice-300604746.html
- 42.** *Information dentaire*, N°38, Novembre 2008 : p 2273-2279
- 43.** *International Journal Mach. Tools Manuf.* 2006, 46: p 1013-1026.
- 44.** JULIEN MONTENERO *Réalités Cliniques* vol. 20 n°4 2009)
- 45.** Kattadiyil et al., « Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication ». Kattadiyil et al.
- 46.** Kreos Dental solutions CFAO dentaire 2020
- 47.** La CFAO directe aujourd’hui principe généraux, MICHEL FAGES , JACQUES RAYNALN , JACQUES MARGERIT , *l’information dentaire* n°38, 5 novembre 2008)
- 48.** LAN A. Les matériaux céramiques, que faut-il en retenir ? *Inf Dent.* sept 2015;29(97):21.
- 49.** Landerwerlin O, Berruet J-L. Empreinte optique et CFAO dentaire à l’IDS 2015 | *Dental Tribune International* [Internet]. Dental Tribune. 2015 [cité 28 nov 2017].
- 50.** Lasermill System [Internet]. Dental Wings. [cité 17 janv 2018].
- 51.** *Le fil dentaire*, N°23, Juin 2004 : p 1505-1513.

52. Le fil dentaire, N°3, Janvier 1999 : p 161-171.
53. Les cahiers de prothèse N° 146, Juin 2009 : p 23-31.
54. Les dispersions de données dans les chaînes de CFAO, partie 01 : dispersions physique , PHILIPPE BOITELLE et all , université de Lille 2 , mars 2018)
55. Lexique-lsf.injs-paris.fr ,laboratoire-medident
56. Medentic [Internet]. Science. Simple. [cité 23 mars 2018].
57. MIARA P, TISSIER S. Les couronnes céramo céramiques en Procera All-Ceram. Information dentaire, N°3, Janvier 2001 : p 137-145.
58. NewsChannel 5. Digital Dentistry: S-RAY to Replace X-Ray [Internet]. [cité 23 mars 2018].
59. Perelmuter S. et Coll, La prothèse céramo-céramique par CFAO, Collection Réussir, Ed. Quintessence International,1, pp122, 2009. X vécue : le Temps des pionniers. Information dentaire, 2007. 29: p. 1659-1663.
60. Place de la CFAO directe dans la dentisterie moderne. HÉLENE FRON, CHRISTAN MOUSSALLY , JEAN-BAPTISTE CHIEZE et all; Paris;), le fil dentaire N° 51 Mars 2010
61. Quintessence International, 2002.
62. Rchien C., Kunzelmann K.H., Kern M, Pospiech P., Mehl A., Frankenberger R., Reiss B., Wiedhahn K. Tout sur le tout céramique. Guide sur les indications, le choix des matériaux, la préparation et la pose des restaurations « céramo-céramiques » Association pour la Céramique Dentaire (ACD), 1^{ère} édition Française 2008, 3-103.
63. SAMAMA Y, OLIVIER J. La prothèse céramo-céramique et implantaire. Système Procera.
64. SAMAMA Y, OLIVIER J. Une nouvelle approche dans l'élaboration des céramocéramiques : le système Procera.

65. Samari A. SANTÉ Une expérimentation de télé-dentisterie en LanguedocRoussillon [Internet]. Objectif Gard. 2014 [cité 26 mars 2018].
66. Schütz Dental GmbH. Schütz Dental zebrisJaw Motion Analysis - english version [Internet]. [cité 26 mars 2018].
67. Secondaire [Mazda J. A Lasting Impression : Major developments occurring in scanning technology. IDT, Inside Dental Technology [Internet]. juill 2016 [cité 23 mars 2018];7(7).
68. Soenen A, Le Gac O, Sireix C. L’empreinte optique intra-buccale au service de la CFAO semi-directe en clinique [Internet]. LEFILDENTAIRE magazine dentaire. 2014 [cité 20 déc 2017].
69. SOPROCARE [Internet]. Acteon. [cité 27 mars 2018].
70. Thèse de chirurgie dentaire, 2007 Toulouse n° 2007TOU3305.
71. Tout en céramique en CFAO dentaire directe : concepts actuels et critere de choix en prothesefixée , MANON PIERRE , Submitted en 23 Nov 2018)
72. TREVELO F. La couronne Procera All-ceram.
73. WITKOWSKI S, LANGE R. Applications de la stéréolithographie dans la technique dentaire.
74. YIN L, SONG XF, SONG YL, HUANG T, LI J. An overview of in vitro abrasive CAD/CAM of bioceramics in restorative dentistry.
75. Zebris. Simple and precise - the zebrisJMAlyser jaw registration system [Internet]. 2016 [cité 27 mars 2018].
76. Zitzmann , N U , Hagmann , E , Weiger , R (2007) . What is the prevalennve of various types of prothetic dental restorations in Europe ? Clinical Oral Implants Research , 18(s3) 20-33

SITOGRAPHIE

77. 5axes- Free disponible sur:<http://5axes.free.fr/> (consulté le 01 octobre 2012)
78. <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap17/site/html/cours.pdf>
79. <http://dr-judith-lorquin-vaysse-chirurgiens-dentistes.fr/inlay-core.html>
80. <http://thesesante.upstlse.fr/984/1/2015tou33069.pdf>
81. <http://www.astratechdental.fr/> (consulté le 01 octobre 2012)
82. <http://www.cnifpd.fr/guidecfao/index.html> (consulté le 01 octobre 2012)
83. <http://www.dentalwings.com/products/laser-milling-system/>
84. <http://www.sop.asso.fr/ros/revue-odonto-stomatologique/ROS0000336>
85. <https://enove-dental.com/categorie-produit/consommables-cfao-dentaire/resine-imprimante-3d-dentaire>
86. <https://www.bodyexpert.online/post/facettes-ceramique>
87. <https://www.dentiste-richard-amouyal.com/facette-dentaire/protheses/inlay-onlay-ceramique-composite/>
88. <https://www.em-consulte.com/article/1098289/realisation-clinique-d-une-prothese-fixee-unitaire>
89. <https://www.kreos-dental.fr/guide/cfao-dentaire/les-differents-materiaux-utilisees-dans-la-cfao-dentaire/>
90. <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/empreinte-optique-intrabuccale-au-service-de-la-cfao-semi-directe-en-clinique/>
91. <https://www.owandy.fr/cfao-dentaire/>

BIBLIOGRAPHIE

92. https://www.srayinc.com/product_49].

93. <https://www.srayinc.com/product> NewsChannel 5

94. www.3dcelo.com/empreinte-numerique-les-etapes-de-la-cfao-dentaire/

95. www.stellitec.com

Résumé :

La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) est une discipline de plus en plus présente dans notre pratique qui nous semble si nouvelle et moderne.

La prothèse unitaire fixée seule ou sur implant est le domaine dans lequel la prise d'empreinte et l'usinage restent les plus utilisés, deux choses qu'aujourd'hui l'avènement du numérique a considérablement modifié leur étapes.

Le confort, la haute précision, le grand choix des matériaux et l'évolution des étapes du même processus clinique de la réalisation de la prothèse en une seule séance, sont les offres majeures de la CFAO en prothèse unitaire fixée.

C'est donc une grande page de notre histoire qui s'ouvre, et étant donné l'évolution croissante de ces techniques, il faut s'y intéresser dès maintenant pour ne pas avoir un retard trop important dans quelques années.

Spécialité : prothèse dentaire, Mots clés : CFAO, prothèse fixée, usinage, numérique.

Abstract:

The computer assisted or aided design and computer assisted manufacturing (CAD/CAM) is an increasingly discipline in our practice that seems so fresh; so contemporary.

The single fixed prosthodontic is the area in which toothprinting and processing, remain most used, the advent of digitization nowadays has contribute greatly to the modification of the steps of this two.

The comfort, the height precision, the large choice of materials and the evolution of the steps of the same clinical process of realization of prosthodontics in one clinical session, are the most important offers of dentistry CAD/CAM in single fixed prosthodontics.

It is therefore a long page of our history that opens, which must be addressed urgently.

Specialty: dental prosthesis, Key words: computer assisted design, computer assisted manufacturing, fixed prosthodontics, processing, toothprinting, digitization

ملخص:

ان محاكاة التصميم والتصنيع بمساعدة الحاسوب الالي التي تبدو لن جيدة وحديثة هي تقنية ذات حضور يتزايد أكثر فأكثر في ممارستنا اليومية.

تركيب الاسنان الجزئية الثابتة فوق سن حقيقي او زرع هي المجال الذي يبقى الأكثر استعمالا فيه اخذ بصمة الاسنان والتصنيع وهما الشئتين اللذان غير خطواتهما التطور الرقمي الى الأفضل.

الراحة, الدقة العالية, خيارات مواد التصنيع الكبيرة المتاحة, تطور خطوات نفس بروتوكول صنع و تركيب السن

الجزئي الثابت في نفس الحصة, كل هذا يعتبر الميزات الأقوى التي تتيحها تقنية CFAO

انها اذن لصفحة كبيرة من تاريخنا تفتح, وبالتوازي مع هذا التطور يجب الاهتمام بها ابتداء من الان حتى لا نفع في ركود كبير خلال السنوات المقبلة.

تخصص : تركيب الاسنان, الكلمات الدلالية: محاكاة التصميم, التصنيع, تركيب الاسنان الثابتة, التطور الرقمي.