

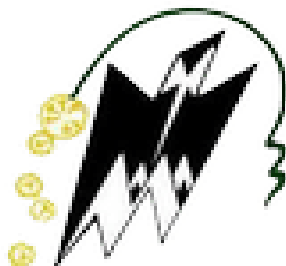
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de médecine

Département de médecine dentaire



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté et soutenu le 12/07/2023

En vue de l'obtention du diplôme de docteur en Médecine Dentaire

**La CFAO en prothèse fixée : l'incontournable de la dentisterie
Moderne**

Réalisé et présenté par :

- *Haid Amira Dounia*
- *Habbiche Lilia*
- *Bennamane Nour El Houda*
- *Boutiche Kamaria*
- *Benatmane Maroua*
- *Aliouat Ikram*



Encadré par : Dr Mekkid

Composition du jury :

- DR BOUBRIT
- DR HANNOUCHINE
- DR BOUBAKOR

Remerciements

Nous remercions,

DIEU, le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce travail.

Notre encadrante, Dr MEKKID, maître assistante en prothèse dentaire, au CHU de Tizi-Ouzou. Votre soutien, votre disponibilité, vos conseils, vos compétences et votre sens critique nous ont été très utiles pour structurer ce travail et améliorer la qualité de son contenu. Votre dimension humaine, votre humour et votre passion pour la prothèse nous ont été d'une richesse, pour nous, durant cette année de travail. Notre respect et notre estime pour vous sont intarissables.

Dr Boubrit, maître assistante en prothèse dentaire au CHU de Tizi-Ouzou. Qui nous fait l'honneur et la gentillesse d'accepter d'être présidente du jury de notre soutenance.

Dr Hannouchine et Dr Boubakor, maîtres assistantes en prothèse dentaire, au CHU de Tizi-Ouzou. D'avoir accepté de participer à ce jury. Qu'elles trouvent, ici, le témoignage de notre reconnaissance sincère

Également, tous ceux et celles, qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que JE dédie ce mémoire :

Au plus beau cadeau que dieu m'a offert, mes chers parents, qui m'ont appris à être courageuse pour faire face aux aléas de la vie :

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et le fil d'espoir qui illumine mon chemin, à ma moitié : Maman

A celui qui m'a fait une femme , à ma source de vie , d'amour et d'affection , à mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager , à mon prince : Papa .

Même si on inventerait des mots, je doute qu'ils seraient suffisants pour exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude envers ce que vous m'apportez. Je vous dois mon présent et mon future. Que Dieu tout puissant, vous accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit, et vous protège de tout mal.

À mon cher grand frère « Islem » : tu es un deuxième père pour moi, un frère, un ami, merci d'être toujours à mes côtés dans cette épreuve comme tu la fais à chaque étape de ma vie.

À mon cher frère « Fares » et mes a mes adorables sœurs « Aya » et « Asmaa » qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotions lors de la réalisation de ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours.

À toi mon très cher fiancé « ZAKARYA » : mon trésor, merci pour ton amour inconditionnel et ta disponibilité à toute épreuve, aucune dédicace ne pourrait exprimer mon amour et mon attachement à toi. Depuis que je t'ai connu, tu n'as cessé de me soutenir et de m'épauler. Tu me voulais toujours le meilleur. Ton amour ne m'a procuré que confiance et stabilité. Tu as partagé avec moi les meilleurs moments de ma vie et même les moments les plus difficiles, tu étais toujours à mes côtés, je te remercie sincèrement, sans toi, ça aurait été bien plus difficile. Je remercie le bon dieu qui a croisé nos chemins. Puisse le bon dieu nous procurer santé et longue vie « Je t'aime très fort ».

A ma chère grand-mère maternelle « Tourkja », à mes oncles et tantes, cousins et cousines, aux membres de ma famille, petits et grands, Merci pour vos encouragements, votre soutien tout au long de ces années. A toute ma grande famille

À la mémoire de mes grands-parents que dieu les accueille dans son vaste paradis.

Et à toutes les personnes qui m'ont soutenu au long de mon parcours

Amira dounia

Dédicace

Ce travail est le fruit de tous les sacrifices que j'ai consentis durant tout mon parcours d'études et de vie ;

Je le dédie pour vous mes chers parents, la lumière de ma vie. Qu'Allah vous donne santé et bonheur afin que vous puissiez assister INCHALLAH à toutes mes réussites,

À la femme qui m'a appris à lire et à écrire à l'âge de trois ans, Mama Adidi, aucune dédicace ne saurait te remercier comme il se doit, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter tous mes obstacles. Mon ange gardien, maman mon âme, ma source du bonheur,

À l'homme qui m'a appris l'ABC de la vie, un grand homme aux principes solides, À toi mon cher papa Mohammed, je tiens aujourd'hui à honorer l'homme que tu es. Grâce à toi j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je ne saurai jamais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta disponibilité et ton indulgence. Ton soutien fût une lumière dans mon parcours,

À ma sœur Sara, ma première amie en qui j'ai confiance, la fille qui m'a soutenu depuis notre enfance dans tous les moments difficiles que j'ai vécus, ainsi que les moments de joie dont elle a été parmi les premiers à se jouir de mes succès,

À mes deux petits frères Raouf et Walid, votre présence me fait sentir que j'en ai deux grands hommes à mes côtés malgré votre jeune âge,

À ma tante Hadada, même si on inventerait des mots, je doute qu'ils seraient suffisants pour exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude envers ce que tu m'apportes. Je te dois mon présent et mon futur. Que Dieu tout-puissant, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit, et te protège de tout mal,

À l'âme de mon arrière-grand-mère maternelle Hadouache qui nous a quitté cette année et qui m'a témoigné un grand amour et tendresse..,

À ma personne préférée, ta disponibilité à toute épreuve, tes conseils, ton soutien moral. Toi avec qui j'ai partagé la joie et les souffrances, les peines et les espoirs, je te remercie sincèrement, sans toi, ça aurait été bien plus difficile. Je n'oublierai pas que je te dois la grande partie de ce travail, « Y »,

À toute ma famille : grands-parents, oncles, tantes, cousins, cousines,

À Tous mes amis et collègues, qu'ils trouvent ici l'expression de ma haute gratitude.

LILIA

Dédicace

Je remercie DIEU le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience d'entamer et de terminer ce travail que je dédie.

À ma merveilleuse mère KHEDIDJA ACHACHE, mon pilier de force, qui m'a soutenue inlassablement tout au long de mon parcours académique. Tes encouragements, ta bienveillance et ton amour infini ont été ma source d'inspiration constante. Ce mémoire est dédié à toi, pour ta dévotion sans faille et ton soutien inconditionnel. Je t'aime du plus profond de mon cœur.

À mon cher père HACENE BENNAMANE, qui m'a toujours encouragé à poursuivre mes rêves et à me dépasser. Ton soutien indéfectible, tes conseils avisés et ton amour inconditionnel ont été des moteurs essentiels dans mon cheminement. Cette dédicace est un témoignage de ma gratitude éternelle envers toi. Je suis fière d'être ta fille et je t'exprime toute mon affection.

À ma sœur WIAM BENNAMANE et mon frère REDHA BENNAMANE, mes compagnons de vie et mes confidents. Vous avez été mon soutien inébranlable et mes alliés tout au long de cette aventure académique. Vos encouragements, votre compréhension et votre présence précieuse ont été des forces motrices dans mon succès. Cette dédicace est un témoignage de mon amour profond envers vous. Je sais que notre lien est indestructible et je vous remercie pour tout.

À tous les profs qui m'ont encadré durant mon internat au sein du service de parodontologie et de prothèse qui ont partagé leur expertise, leur passion et leur savoir avec générosité spécialement Dr. SERKHAËNE.

À mes amies chères LOUBNA ASMA ESMA AMIRA SAMAH et LINA, qui ont été mes sources de joie, de soutien et d'inspiration tout au long de ce parcours académique. Votre amitié solide, vos encouragements constants et votre présence réconfortante ont illuminé mes journées et ont fait de cette expérience une aventure mémorable. Cette dédicace est un témoignage de ma reconnaissance infinie envers vous toutes. Je vous chéris et je vous remercie pour tout ce que vous avez apporté dans ma vie.

Que cette dédicace témoigne de mon immense gratitude envers chaque personne qui a contribué à mon succès académique. Ce mémoire est dédié à vous tous, en reconnaissance de votre amour, de votre soutien et de votre influence positive dans ma vie. Je vous suis profondément reconnaissante et je vous porte dans mon cœur à jamais.

« BENNAMANE NOUR EL HOUDA »

Dédicaces

À mes parents bien-aimés, je ne pourrais jamais exprimer suffisamment ma gratitude à votre égard. Vous avez été les piliers de ma vie, m'inspirant chaque jour avec votre amour inconditionnel je suis tellement reconnaissante pour tout ce que vous avez fait pour moi tout au long de ma vie. Vous avez été mes premiers enseignants, m'apprenant l'importance de la bonté, de la gentillesse et de l'empathie. Vous m'avez encouragé à poursuivre mes rêves, même lorsque je doutais de moi-même, et vous m'avez aidé à devenir la personne que je suis aujourd'hui. Je me souviens des sacrifices que vous avez faits pour moi, des nuits blanches passées à m'aider avec mes devoirs, et de tout l'amour et le soutien que vous m'avez donné. Vous avez travaillé si dur pour me donner la meilleure vie possible.

Je ne pourrais jamais avoir assez de mots pour exprimer combien je vous aime Je vous promets que je continuerai à travailler dur pour honorer tout ce que vous avez fait pour moi, et je vous aime de tout mon cœur.

À mes sœurs adorées, Vous avez été mes meilleures amies, mes confidentes, et mes alliées tout au long de mes études, Je me souviens des moments difficiles que j'ai traversés, des moments de stress, de doute et d'incertitude, mais vous avez été là pour moi, m'encourageant et me soutenant tout au long du chemin. Vous m'avez aidé à rester concentrée, à garder le cap, et à travailler dur pour réaliser mes rêves. Je promets de toujours être là pour vous, de vous soutenir dans tout ce que vous faites, et de vous aimer de tout mon cœur. Merci d'être les meilleures sœurs qu'on puisse avoir."

A mon beau-frère, Je voudrais prendre un moment pour exprimer ma gratitude envers toi mon frère, tu es un modèle de bienveillance et de générosité. Je suis tellement reconnaissante pour tes conseils tout au long de mon parcours universitaire et je ne pourrais pas être plus fière de te compter parmi mes proches.

A ma petite nièce INES, Tu m'as appris à voir le monde avec des yeux neufs, à apprécier les petites choses de la vie et à trouver de la beauté dans les moments les plus simples. Merci d'être une telle source de joie et d'inspiration pour moi et pour toute notre famille.

A toute ma famille, qui m'aime et qui me souhaite un chemin plein des réussites.

A DOCTEUR BENHADJ DJILLALI FARAH, Vous avez été un guide incroyablement bienveillant et attentionné, qui m'a aidé à surmonter des obstacles incroyablement difficiles et à atteindre mes objectifs les plus ambitieux. Votre soutien et votre énergie positive m'ont aidé à trouver la confiance et la détermination nécessaires pour surmonter les défis les plus difficiles, et je ne pourrais jamais vous remercier

assez pour tout ce que vous avez fait pour moi. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir donné toutes les opportunités possibles. Je suis tellement fière de tout ce que j'ai accompli jusqu'à présent, et je sais que je n'aurais jamais pu y arriver sans vous. Vous avez été un mentor extraordinaire, et un modèle de professionnalisme et de compassion. Merci d'être un tel exemple pour moi et pour tant d'autres. Je suis honorée de vous dédier mon mémoire de fin d'études, en reconnaissance de tout ce que vous avez fait pour moi

A toute l'équipe JOY'S ma deuxième famille -médecins et assistants-, Je tiens à exprimer ma gratitude à toute l'équipe joy's pour le soutien durant ma période de stage et jusqu'aujourd'hui. Vos conseils m'ont aidé à atteindre mes objectifs. Je suis fière d'avoir été formé dans un environnement aussi inspirant et encourageant. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre dévouement et votre passion pour la médecine sont une source d'inspiration pour moi et je suis reconnaissante de vous avoir comme mentors et famille

A mes amies les plus proches, Vous avez été là pour moi dans les bons moments et les mauvais, offrant une oreille attentive et un soutien émotionnel lorsque j'en avais le plus besoin. Votre amitié a été une source de force pour moi. Vos conseils avisés, votre humour contagieux et votre optimisme inébranlable ont fait de chaque jour une aventure joyeuse et mémorable, et je suis tellement reconnaissante de partager ce moment important avec vous, et j'espère que cette dédicace vous rappelle à quel point vous êtes importants pour moi et je suis honorée de vous avoir à mes côtés alors que je franchis cette étape importante de ma vie. Merci d'être là pour moi

A mes collègues qui ont été à la hauteur durant notre parcours universitaire en partageant nos connaissances pour finalement réussir tous ensemble.

A toutes les personnes qui ont contribué à mon succès de pers ou de loin

BOUTICHE KAMARIA

Dédicace

Avant toute personne et toute lettre, la grâce revient à dieu seul, Merci "Allah", tout puissant, de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire l'audace pour dépasser toutes les difficultés, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents pour leurs encouragements, leur soutien moral, leur amour inestimable, leur tendresse, leur confiance, leurs sacrifices et leurs prières tout au long de mes études Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

A l'homme qui a souffert sans me laisser souffrir, mon père RABAH, tu m'as toujours soutenu, rien au monde ne vaut les efforts fournis pour mon éducation et mon bien être. Meilleure papa au monde.

A ma mère NABILA, celle qui m'a donné vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite merci pour tout l'amour que tu m'as apporté, je ne serai pas là aujourd'hui sans toi, merci pour tous les sacrifices consacrés afin de me soutenir dans l'ensemble de mes projets.

A mes chères sœurs AYA DOAA SAFIA SALSABIL pour l'amour qu'elles me réservent je vous aime énormément que Dieu vous garde pour moi. Je leurs souhaite une vie pleine du bonheur et de succès.

A ma tante FADILA pour tout l'amour dont tu fais preuve à mon égard même dans les circonstances les plus difficiles.

A mes grands-parents décidés, ils étaient spéciaux, ils ont impacté positivement ma vie. Leur souvenir restera à jamais gravé dans mon cœur.

A Ma belle-famille, ma deuxième famille, mes beaux-parents, HADJER YOUSRA et ses enfants ARYAM MIRAL SIFOU, mon beau-frère RAMI je vous aime énormément que Dieu vous garde pour moi.

A mes meilleures amies, et les belles personnes que j'ai rencontré KAMARIA HANNA AMINA LOUBNA, pour les moments agréables que nous avons passé ensemble. Vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter.

Un grand merci, A notre promotrice Dr MEKID merci pour vos conseils et pour votre patience ; A tous mes enseignants, merci pour vos aides pour tout ce que vous m'avez appris.

À tous ceux qui me sont chers. A tous ceux qui m'aiment. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Enfin, A mon soutien moral et source de joie et de bonheur, mon cher mari que j'aime profondément, pour l'encouragement et l'aide qu'il m'a toujours accordé. Ta Fierté en moi m'a fait toujours un plaisir, merci d'être à mes côtés, merci de faire partie de ma vie... que dieu te garde pour moi.

Meroua

Dédicace

Je dédie cette note

Aux deux personnes les plus chères à mon cœur, ma mère et mon père.

Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

Je les remercie pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

A mes frères: Mustapha Toufik et Omar.

A ma adorable sœur Athem.

A mon cher grand père Amer. C'est ma profonde gratitude pour votre amour éternel, j'espère que ce rapport sera le meilleur cadeau que je puisse vous faire.

A mon cher oncle Ismail qui m'a aidé tout au long de ma formation.

A mon cher mari Houssam pour la patience et le soutien dont il a fait preuve pendant tout la durée de ce travail.

En fin à tous ceux qui m'aiment et à tous ceux que j'aime.

Merci.

Akram

Sommaire :

1. Cfao Dentaire :	1
1.1 Historique :	1
1.1.1 Le Temps Des Pionniers (1975-1985).....	1
1.1.2 Période Industrielle (1985-2000).	1
1.1.3 Des Années 2000 A Aujourd’hui.	2
1.2 La Cfao : Les Grands Principes :	2
1.2.1 Généralités.....	2
1.2.2 Composition De La Cfao : La Cao Et La Fao.	2
1.2.3 Unité De Travail.	3
1.3 Les Différentes Techniques :	3
1.3.1 technique Directe.	3
1.3.2. Technique Semi-Directe.	4
1.3.3 Technique Indirecte.	4
1.3.4. Comparaison Des Différentes Techniques.	4
1.4 La Numerisation 3d:	4
1.4.1 principe de fonctionnement :	4
1.4.2. Techniques D’acquisition Des Données Deux Grandes Catégories :	4
1.5 Les Différents Systèmes De La Cfao :	8
1.5.1 Les Systemes De Laboratoire.....	8
1.5.2 les Systeme De Fauteuil.....	8
1.5.3 Les Systemes Fermes.....	8
1.5.4 Les Systemes Ouverts.....	8
1.6. Domaines d’application :	10
1.6.1 En Prothèse Conjointe.	10
1.6.2 En Prothèse Adjointe.	10
1.6.3 En Prothèses Maxillo-Faciales.	10
1.6.4 En Implantologie.	10
1.6.5 En Orthodontie.	10
1.7 Les Avantages Et Les Inconvénients De La Cfao :	11
1.7.1 Les Avantages De La Cfao.	11
1.7.2 Les Limites De La Cfao.	13
2. Cfao Et Prothèse Conjointe :	15

2.1. Généralités Sur La Prothèse Conjointe.	15
2.1.1 Définition.	15
2.1.2 les Types De La Prothèse Conjointe.	15
2.2. Les Restaurations Fixees Realisable Par La Cfao :	15
2.2.1. Les Facettes.	15
2.2.2 Les Inlay /Onlay/ Overlay.	16
2.2.3 les Endocouronnes.	16
2.2.4 Les Inlay Core.	16
2.2.5 les Chapes Pour Couronne Et Bridges.	17
2.2.6 Les Couronnes Monobloc.	17
2.2.7 Les Couronnes Sur Implants.	17
2.2.8 Bridge Plurale.	17
2.3 COMPARAISON DES TECHNIQUES DE FABRICATION DES RESTAURATION FIXEES (CONVENTIONNELLE/CFAO):	18
3. Les Matériaux Accessibles En Cfao :	20
3.1 Métaux.	20
3.2 Céramiques :	20
3.2.1 Les Céramiques Feldspathiques.	21
3.2.2 Les Vitrocéramiques.	21
3.2.3 Les Céramiques Infiltrées.	22
3.2.4 Les Céramiques Poly cristallines.	22
3.2.4.1 l'alumine Pure.	22
3.2.4.2 La Zircon Pure : ZrSiO ₄ .	22
3.3 Les Résines.	24
3.4 Les Matériaux Hybrides.	24
4. Séquence De La Chaine Numérique :	26
4.1 Les Etapes De La Cfao Directe En Cabinet :	26
4.1.1 Empreinte Optique Et Caméras Intra-Buccales.	26
4.1.2 Conception (Logiciel Cao).	27
4.1.3 Choix Du Matériau.	28
4.1.4 Maquillage Et Cuisson.	29

4.1.5	Traitement De Surface Et Pose De Prothèse.	30
4.1.5.1	Sélection Du Système De Fixation.	30
4.1.5.2	Conditionnements De La Préparation : Email Et Dentine.	31
4.1.5.3	Conditionnements De La Restauration.	32
4.2	Les Etapes De La Cfao Semi Directe :	33
4.2.1	Réalisation De l’empreinte Numérique Dite « Empreinte Optique ».	33
4.2.2	Envoi Des Données Au Prothésiste.	34
4.2.3	Modélisation 3d.	35
4.2.4	Usinage.	35
4.2.5	Finitions.	35
4.2.6	Retour Au Cabinet Dentaire.	35
4.2.7	Vérifications Et Pose De La Prothèse.	35
4.3	Les Etapes De La Cfao Indirecte :	35
4.3.1.	Les Etapes Cliniques :	36
4.3.1.1.	Les Empreintes Surfacades :	36
4.3.1.1.1.	L’accès Aux Limites Cervicales.	36
4.3.1.1.2.	Les Matériaux A Empreinte.	39
4.3.1.1.3.	Techniques d’empreintes Surfacades.	40
4.3.1.1.4.	Contrôle De Validation De l’empreinte.	40
4.3.1.2.	Gestion De l’occlusion :	41
4.3.1.2.1.	Rappel.	41
4.3.1.2.2.	Les Fonctions Occlusales.	41
4.3.1.2.3.	Enregistrements Des Relations Intermaxillaires.	41
4.3.2	Les Etapes Laboratoires :	42
4.3.2.1.	Traitement Des Empreintes.	42
4.3.2.2.	La Conception Assistée Par Ordinateur.	43
4.3.2.2.1.	La Numérisation :	43
4.3.2.2.2	Paramétrage.	47
4.3.2.2.3	Modélisation.	49
4.3.2.3.	Fabrication De La Pièce Prothétique :	52
4.3.2.3.1	Les Techniques De Fabrication.	52
4.4.	Comparaison Des Deux Techniques : Directe Et Indirecte :	65

4.4.1.2. Anomalie De Forme.	66
4.4.1.3. Demande Esthétique.	66
4.4.1.4. Matériau Utilisé Et Usinage.	66
4.4.1.5. Urgence De La Situation.	67
4.4.1.6. Importance De La Préparation Et Situation Des Limites.	67
4.4.2. Empreinte Numérique Versus Empreinte Conventiionnelle :	68
4.4.2.1. Précision.	68
4.4.2.2. Visualisation Directe De l’empreinte.	68
4.4.2.3. Diminution Du Nombre d’étapes Intermédiaires.	68
4.4.2.4. Ergonomie.	69
4.4.3. Coût	69
4.4.4. Ergonomie	69
4.4.4.1. En Cfao Directe, Au Cabinet.	69
4.4.4.2. En Cfao Indirecte, Au Laboratoire.	70
5. Cfao Vs Méthode Traditionnelle :	71
5.1 Comparaison Entre La C.F.A.O. Et La Méthode Traditionnelle.	71
5.2 Intérêt Recherché Pour La Cfao.	73
6. L’évolution :	76
6.1 L’évolution De La Relation Patient/Praticien.	76
6.2. L’évolution De La Relation Praticien/Prothésiste.	76
6.3. Les Progrès Actuels Et Futurs.	77
6.3.1. L’acquisition.	77
6.3.2. La Conception Et l’usinage.	79
6.3.3. Allons-Nous Vers La Disparition Du Prothésiste ?	81
6.3.4. Le Cabinet Dentaire De Demain.	82
La partie pratique.....	84

LISTE DES ABREVIATIONS

- 2D : Deux dimensions.
- 3D : trois dimensions.
- ASTM : American Standards of Technical Material
- ADF : Association dentaire française
- CAD : computer assisted design.
- CADD: computer aided dental design.
- CAM : computer assisted manufacturing.
- CAO : conception assistée par ordinateur.
- CCD : charge couple device.
- CCM : couronne céramo-métallique.
- CEREC : ceramic reconstruction.
- CFAO : conception et fabrication assistée par ordinateur.
- CIV : couronne à incrustation vestibulaire.
- CVIMAR : ciment verre ionomère modifié par adjonction de résine.
- DAM : appareil manducateur.
- DCS : distributed control system.
- DLP : direct light projection.
- FAO : fabrication assistée par ordinateur.
- FGP : functionally generated path.
- HIP : Hot Isostatic Pressing.
- HLD : high level desinfectants.
- HO : haute opacité.
- HT : haute translucidité.
- IBM : international business machines.
- IDS : international dental show.
- IDS : scellement immédiat de la dentine.
- LT : low translucidity.
- MO : moyenne translucidité.
- MOCN : machine outils à commande numérique.
- MPU : modèle positif unitaire.
- MR : mordantage-rinçage.
- OIM : occlusion d'intercuspidation maximale.
- PAP : prothèse amovible partielle.
- PMMA : polymetacrylate de méthyle.
- RCIP: polymer infiltrated ceramic network.
- RCP : reconstruction coronoradiculaire.
- RCR : restauration corono-radiculaire.
- RIM : relations intermaxillaires.
- RPC : restauration partielle collée.
- RPC : restauration partielle collée.
- SAM : Système d'auto-mordantage.
- TZP : tetragonal zirconia polycrystal.
- USB : universal serial bus.
- UV : rayonnement ultraviolet.

Liste des figures

-	Figure 1 : Extrémité du bras du palpeur.....	6
-	Figure 2 : Scanner mécanique.....	6
-	Figure3 : La méthode par triangulation sans lumière structurée.....	6
-	Figure 4 : La méthode par triangulation en lumière structurée.....	6
-	Figure 5 : La projection d'une trame ou grille.....	7
-	Figure 6 : Moiré optique.....	7
-	Figure 7 : Moiré électronique.....	7
-	Figure 8 : le système CEREC 3.....	9
-	Figure 9 : caméra optique de système CEREC 3.....	9
-	Figure 10 : Enregistrement du M.P.U. en plâtre par le palpeur du Procera® Forte.....	9
-	Figure 11 : Réalisation d'inlays-core par CFAO.....	10
-	Figure 12 : Réhabilitation prothétique de grande étendue par CFAO.....	10
-	Figure 13 : Le logiciel GALILEOS Implant de Sirona.....	11
-	Figure 14 : Exemples de pièces prothétiques en titane et chrome-cobalt.....	20
-	Figure 15 : Plot de céramique feldspathique pour l'usinage	21
-	Figure 16 : Plots de vitrocéramique pour l'usinage.....	21
-	Figure 17 : pièces prothétiques en zircone obtenues par CFAO à partir d'un bloc	23
-	Figure 18 : Exemples d'infrastructures en zircone obtenues par CFAO.....	24
-	Figure 19 : les techniques d'empreintes digitales optiques.....	27
-	Figure 20 : impression visuelle en 3D.....	27
-	Figure 21 : tracé de la limite corono-pérophérique.....	27
-	Figure 22 : Visualisation CAO des prothèses (dans le cadre de l'implantologie).....	28
-	Figure 23 : Les différents systèmes d'empreinte optique intra-buccale.....	34
-	Figure 24 : Technique du simple cordonnet (déflexion).....	37
-	Figure 25 : Technique du double cordonnet (déflexion).....	37
-	Figure 26 : MagicFoamCord®.....	37
-	Figure 27 : MagicFoamCord® appliqué dans le sulcus.....	37
-	Figure 28 : Expasyl® appliqué dans le sulcus.....	38
-	Figure 29 : Empreinte double mélange avec présence de la collerette.....	41
-	Figure 30 : Ouverture projet sur Exocad.....	44
-	Figure 31 : Modèle antagoniste dans un scanner GC AadvaLab (lumière structurée).....	45
-	Figure 32 : Etape de scannage avec caméra de prévisualisation sur Exocad.....	45
-	Figure 33 : Etalonnage articulateur physique.....	46
-	Figure 34 : Scan du montage.....	46

-	Figure 35 : Visualisation des points d'occlusion, DentalWings.....	47
-	Figure 36 : Définition de la limite cervicale sur Exocad.....	47
-	Figure 37 : Choix axe d'insertion, visualisation contre dépouilles (rouge) sur DentalWings....	48
-	Figure 38 : Déterminations des paramètres lors de la conception d'une chape.....	49
-	Figure 39 : Proposition d'une wax up numérique.....	50
-	Figure 40 : Proposition d'un wax up de couronnes.....	50
-	Figure 41 : Visualisation poignées d'ajustage sur DentalWings.....	51
-	Figure 42 : Gestion des contacts occlusaux (rouge) sur DentalWings.....	51
-	Figure 43 : Modification du wax up de la chape.....	52
-	Figure 44 : Définition du projet.....	53
-	Figure 45 : Nesting.....	54
-	Figure 46 : Visualisation des contre-dépouilles en fonction du nesting	54
-	Figure 47 : Visualisation de la prédécoupe des tiges de fixation.....	56
-	Figure 48 : prévisualisation du parcours d'usinage.....	56
-	Figure 49 : Schématisation de différents axes de fraisage.....	57

1er cas clinique

-	Figure 50 : état initial.....	84
-	Figure 51 : préparation de la dent.....	84
-	Figure 52 : prise d'empreinte (double mélange pour la mandibule et en alginate pour le maxillaire)..	84
-	Figure 53 : Saisie des données.....	85
-	Figure 54 : maître modèle/antagoniste sur scanner.....	85
-	Figure 55 : Etape de scannage avec caméra de prévisualisation.....	85
-	Figure 56 : Tracé de la limite de la préparation sur le modèle virtuel.....	86
-	Figure 57 : Choix axe d'insertion.....	86
-	Figure 58 : visualisation contre dépouilles (rouge)	86
-	Figure 59 : Déterminations des paramètres lors de la conception.....	87
-	Figure 60 : Proposition automatique (wax-up virtuel)	87
-	Figure 61 : Gestion des contacts occlusaux.	88
-	Figure 62 : Définition du projet, Choix du type de brut et type du matériau.....	88
-	Figure 63 : Nesting.....	88
-	Figure 64 : Centre d'usinage.....	88
-	Figure 65 : Sintérisation.....	88
-	Figure 66 : maquillage et glassage de la couronne.....	89
-	Figure 67 : cuisson apres glassage	89
-	Figure 68 : couronne sur modele de travail.....	89
-	Figure 69 : résultat final : couronne en full zircone après scellement.....	89

2em cas clinique

-	Figure 70 : situation initiale endo-buccale-vue frontale en OIM.....	90
-	Figure 71 : une préparation coronaire classique est réalisée.....	91
-	Figure 72 : préparation coronaire	91
-	Figure 73 : vue frontale en OIM après préparation Finale de la 11, 21,22.....	91
-	Figure 74 : la prise d’empreinte maxillaire par technique du simple mélange.....	91
-	Figure 75 : scanner	92
-	Figure 76 : le scannage.....	92
-	Figure 77 : définition des limites cervicales.....	93
-	Figure 78 : choisir l’axed’insertion.....	93
-	Figure 79 : déterminations des paramètres lors de la conception d’une chape.....	93
-	Figure 80 : proposition automatique des couronnes.....	94
-	Figure 81 : positionnement des couronnes par Rapport au Plan d’occlusion.....	94
-	Figure 82 : gestion des contacts occlusaux.....	94
-	Figure 83 : pièces prothétiques usinées.....	94
-	Figure 84. Couronnes usinées en état poreux au sein du Disque (nesting).....	94
-	Figure 85. Sintérisation des 3 couronnes dans le four de sintérisation.....	95
-	Figure 86 : 3 couronnes en full zircon après finition sur modèle de travail.....	95
-	Figure 87 : situation finale après scellement définitif.....	95

3em cas clinique

-	Figure 88 : état initial.....	96
-	Figure 89 : la restauration au composite.....	96
-	Figure 90 : préparation coronaire.....	97
-	Figure 91 : mise en place de l’expasyl.....	97
-	Figure 92 : prise d’empreinte numérique.....	98
-	Figure 93 : vérification des donnés.....	98
-	Figure 94 : enregistrement de l’occlusion	98
-	Figure 95 : impression de l’empreinte optique.	99
-	Figure 96 : modèles d’étude issue de l’empreinte optique.....	99
-	Figure 97 : saisie des données.....	99
-	Figure 98 : tracé de la limite cervicale.	100
-	Figure 99 : choix de l’axe de l’insertion.....	100
-	Figure 100 : proposition automatique (waxup virtuel).	100
-	Figure 101 : détermination des paramètres lors de la conception de la chape.....	100
-	Figure 102 : gestion des contacts occlusaux.....	101
-	Figure 103 : définition du projet et choix du type du matériau.....	101
-	Figure 104 : nesting, centre d’usinage.....	101

-	Figure 105 : Sintérisation.....	101
-	Figure 106 : maquillage et glassage de la couronne.....	102
-	Figure 107 : cuisson après maquillage et glassage.	102
-	Figure 108 : couronne sur le modèle.....	102
-	Figure 109 : livraison.....	102

Liste des tableaux

- Tableau 1 : tableau comparatif des différentes techniques de la CFAO04
- Tableau 2 : tableau comparatif des techniques de fabrication des restaurations fixées (conventionnelle/ CFAO)18
- Tableau 3 : indications des différents matériaux de restauration prothétique développés en CFAO.....24
- Tableau 4 : tableau citant les principales offres commerciales et leurs indications dans le domaine des céramiques usinables25
- Tableau 5 : protocoles de mise en place prothétique selon les matériaux utilisés en cfao33
- Tableau 6 : avantages et inconvénients des techniques par déflexion38
- Tableau 7 : avantages et inconvénients des techniques par éviction39

Introduction

Le numérique est dans « l'air du temps », La société elle-même est de plus en plus numérisée : Internet, téléphonie mobile, photographie, informatique. Le numérique s'est imposé dans les cabinets dentaires dans les années 70 avec des logiciels permettant le classement des dossiers médicaux. L'arrivée de la radiologie numérisée a amplifié le besoin d'informatiser les cabinets. C'est en toute logique que des nouvelles technologies entrent dans notre pratique courante.

A l'heure actuelle, nous ne pouvons plus ignorer l'ère du numérique dont les possibilités et les capacités ne cessent d'évoluer. Il a donc fallu nous tourner vers l'informatique afin de répondre aux exigences de notre discipline en nous appuyant sur la conception et la fabrication de prothèses fixée assistées par ordinateur

Avec le perfectionnement des machines existantes et le développement d'autres procédés tel que l'impression 3D, la CFAO permet de traiter des cas de plus en plus complexe et voit son domaine d'application s'élargir. La CFAO fait partie, aujourd'hui, d'un acteur majeur dans tous les domaines prothétiques dentaires : prothèse amovible complète, partielle, prothèse fixée complexe. Mais ce n'est pas tout, elle ne se limite plus à la simple confection d'appareillages, elle permet aussi d'épauler et parfois même de guider le chirurgien-dentiste en implantologie et en orthodontie notamment.

Donc peut-on passer à une ère totalement numérique ? Quelles sont les avantages et les limites de la CFAO ? comment fonctionne-elle ? Quelle est la meilleure méthode pour réaliser une prothèse fixée ; est-ce la CFAO ou bien la méthode conventionnelle ? Et quelles perspectives d'avenir nous ouvrent-elles ?

Le présent mémoire de doctorat en médecine dentaire a pour objectif d'analyser l'impact de la CFAO sur la dentisterie moderne, en particulier sur la prothèse fixée, La problématique de cette étude est de savoir si la CFAO est une alternative fiable à la technique conventionnelle dans la prothèse fixée, Cette étude aidera à fournir des informations précieuses aux dentistes et aux professionnels de la santé bucco-dentaire, en leur permettant de choisir la méthode la plus adaptée pour chaque patient et chaque cas clinique. En somme, ce mémoire vise à fournir une analyse approfondie et objective l'utilisation de la CFAO dans la prothèse fixée et permet d'évaluer les avantages et les inconvénients de cette technologie ainsi que déterminer les cas cliniques où la dentisterie numérique est plus appropriée que la technique conventionnelle.



LA
PARTIE
THÉORIQUE

1. CFAO DENTAIRE :**1.1 HISTORIQUE :****1.1.1 Le temps des pionniers (1975-1985) :**

L'histoire commence lorsque l'informatique est naissante, et que l'usinage automatique est apparue dans les grandes usines d'automobiles ou d'aviation au début des trente glorieuses. Quant à l'optique, on l'utilisait déjà en dentisterie afin d'effectuer des mesures de dents (Université du Michigan, 1968) ou afin de réaliser des usinages de couronnes. L'idée d'apporter ces nouvelles technologies en dentisterie germe dans l'esprit des chercheurs français et se matérialise par la thèse de son inventeur en 1973 : « empreinte optique » de François Duret. Cette dernière impose la faisabilité technique d'un processus difficilement imaginable. Toutes les techniques aujourd'hui utilisées en CFAO sont décrites dans la thèse du professeur. A partir de ce moment commence la véritable histoire de la CFAO dentaire. [1]

Dès lors, seuls deux pays s'impliquèrent fortement dans le domaine, sans se connaître. La France, s'associe avec la société Henson et réalise la première démonstration de CFAO lors des « entretiens de Garancière » en 1982 puis fabrique une première prémolaire mandibulaire en une heure après empreinte optique, qui sera scellée sur la femme du Pr. Duret à l'ADF de 1985, et Les Etats-Unis qui avancent plus dans les publications que les démonstrations, notamment grâce à Diane Rekow. La fin de cette période est marquée par la création du CEREC system en 1984 par le Professeur W. Moerman et l'ingénieur M. Brandestini à Zurich. Cette équipe s'impose dans la CFAO dentaire avec le Cerec mark 1 appelé aussi le « lemon » pour sa couleur jaune. Ce nouvel appareil permet de faire des empreintes en bouche et d'usiner des inlays en quelques minutes. [1]

1.1.2 Période industrielle (1985-2000) :

Avec l'engouement international de cette révolution scientifique, vient l'ère des démonstrations et de la rivalité amicale Allemagne/Suisse – France : l'équipe de Moerman rejoint Siemens et développe le CEREC, l'équipe française autour du professeur Duret continue son ascension et son leadership autour des démonstrations jusqu'en 1990 où le rachat de la société Henson par Sopha entraîne une implosion financière et brise dans l'œuf 20 ans d'effort. L'équipe française se disperse, aidée par l'accueil froid des dirigeants européens, contrairement au réel engouement des USA et du Japon, il en est fini du leadership français, alors que le CEREC à Zurich devient le numéro 1 incontesté de la CFAO dentaire dans le monde, que l'équipe de Matt Enderson perfectionne le système PROCERA en Suède et que le Japon rejoint le pool industriel de la CFAO dentaire avec l'appui de Nikon et Hitachi. Les années suivantes consistent à industrialiser les systèmes CFAO afin de les commercialiser à grande échelle. Ceci entraîne la disparition des plus petites équipes face à

L'explosion des grands groupes industriels. Si techniquement l'évolution stagne, la CFAO s'impose chez les utilisateurs comme les dentistes et prothésistes, qui devient crédible à leurs yeux. [1]

1.1.3 Des années 2000 à aujourd'hui :

Au début de XXIème siècle, la CFAO s'impose comme un chef de file dans l'industrie, la science et même la dentisterie. L'avènement de la zircone a révolutionné la CFAO qui était faite que pour usiner des pièces métalliques, des composites non esthétiques ou des céramiques fragilisées par l'usinage. Les systèmes ouverts de CFAO ont vu le jour depuis l'année 2003 permettant d'utiliser différentes marques selon l'empreinte, la conception ou la fabrication, et sont compatibles entre elles. Dès 2005, les chercheurs et pionniers de la CFAO notaient la nécessité de posséder dans les centres de soins, notamment universitaires, au minimum une ou plusieurs caméras intra-buccales, un centre d'usinage, des périphériques d'informations types articulateurs et sondes parodontales, et des périphériques de stockage comme les informations numériques de la bouche des patients, incluses dans leur dossier médical. En 2007, 15% des prothèses mondiales sont réalisées par CFAO, bien que la technique n'ait pas tellement évolué depuis les années 1980. Aujourd'hui tous les centres universitaires ont introduit la CFAO dans les cours magistraux des étudiants, mais c'est encore du bout des doigts et trié sur le volet que les étudiants font de réels cas cliniques par CFAO, alors nous sommes encore bien loin de la toile d'araignée reliant tous les actes cliniques rêvée par le Professeur Duret. [1]

1.2 LA CFAO : LES GRANDS PRINCIPES :

1.2.1 GENERALITES :

La CFAO en Dentisterie est un système qui simplifie la réalisation d'actes dentaires, de Certaines procédures cliniques ou laboratoires, en utilisant des protocoles spécifiques. En effet, l'empreinte optique permet la visualisation des arcades dentaire sur ordinateur en 3 dimensions sur lesquels va se dérouler la conception suivie par la fabrication des prothèses dentaire. Ce type de travail peut permettre aux patients de participer aux différentes étapes de restaurations entraînant une meilleure acceptation de la remise en état. Cela signifie que la CFAO implique toutes les phases, de l'examen clinique à la fabrication de la restauration définitive. C'est une innovation florissante avec plusieurs avantages. [2]

1.2.2 COMPOSITION DE LA CFAO : LA CAO ET LA FAO :

La CFAO est une combinaison de la CAO (conception assistée par ordinateur) et de la FAO (fabrication assisté par ordinateur).

- La CAO permet de crée un projet prothétique virtuel sur un support réel.

Elle remplace les matériaux du laboratoire à savoir (la cire et le plâtre) réalisés par le prothésiste.

- Le FAO est la matérialisation de la pièce prothétique. C'est une unité de production informatisé. Contrôlé par (Les données CAO déjà enregistrées). Cela facilite l'usinage de la pièce prothétique. [2]

1.2.3 UNITE DE TRAVAIL :

Tous les systèmes CAD/CAM ont trois unités de travail :

- Un processus de numérisation : il s'agit de la conversion d'éléments physiques en données numériques. Ceux-ci sont tous stockés sur l'ordinateur. Cette étape peut être faite sur place ou au laboratoire.
- Logiciel de modélisation : les données sont traitées par un logiciel assisté par ordinateur pour concevoir les futures pièces prothétiques.
- Unité d'usinage : Il s'agit d'une unité de production avec contrôle des données informatiques à partir de logiciel. C'est l'étape CAM. [2]

LES DIFFERENTES TECHNIQUES :

La révolution de la CFAO est faite de deux façons :

- La première permet de faire des restaurations en un temps au cabinet dentaire.
- La seconde utilise un laboratoire ou un centre de production pour effectuer des travaux de restauration complexes, avec des matériaux difficiles. [3]

Par conséquent, nous pouvons distinguer différentes méthodes :

1.2.1 TECHNIQUE DIRECTE :

Le médecin dentiste réalise les pièces prothétiques en clinique et en une séance.

3 éléments sont nécessaires

- Une caméra numérique intra oral
- un logiciel
- une machine d'usinage

Le dentiste réalise l'empreinte optique intra-orale la traite sur-le-champ

Les données clinique sont ainsi transfères à un logiciel numérique

La pièce prothétique est ensuite fabriquée à l'aide de l'unité de travaille en utilisant les informations de logiciel. [3]

1.3.2. TECHNIQUE SEMI-DIRECTE :

Le médecin dentiste réalise l’empreinte optique en clinique puis les données sont envoyées au laboratoire via le web.

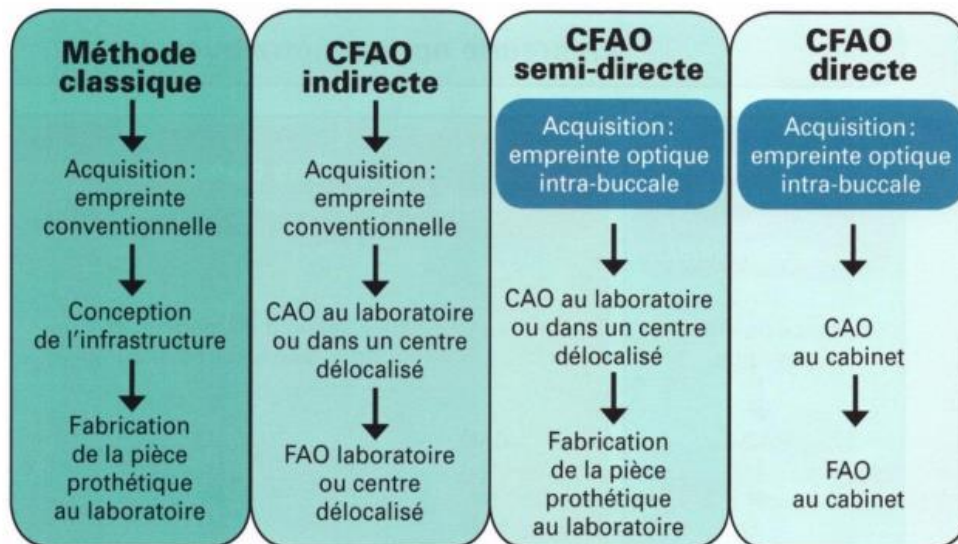
Le prothésiste par son expertise va prendre en charge la CAO/FAO. [3]

1.3.3 TECHNIQUE INDIRECTE :

Le dentiste dans cette technique réalise une empreinte conventionnelle physico chimique

Le prothésiste va s’occuper de tout le reste de travaille à savoir la coulé de l’empreinte le scanner du model de plâtre ainsi que la conception et la fabrication des pièces prothétiques. [3]

1.3.4. TABLEAU COMPARATIF DES DIFFERENTES TECHNIQUES :



1.3 LA NUMERISATION 3D :

La confection prothétique nécessite, préalablement, l’enregistrement de la préparation du tissu dentaire résiduel par prise d’empreinte, le traitement informatique de ces données exige leur numérisation. [4]

1.3.1 Principe De Fonctionnement

À partir d’une position donnée par rapport à l’objet à scanner, le dispositif projette un rayonnement sur une section de la surface de l’objet. Chaque point de la surface touchée par source lumineuse est capté par une caméra intégrée au numériseur et les coordonnées X, Y, Z ainsi que l’intensité de chacun de ces points sont enregistrées dans la mémoire de l’ordinateur qui contrôle le scanner. Cette opération est répétée des plusieurs fois à la seconde, ce qui génère un fichier très dense de points X, Y, Z de la surface à numériser, appelé nuage de points (maillage).

Ce fichier est affiché à l'écran de l'ordinateur et montre la forme tridimensionnelle de la surface numérisée. [5]

Il existe deux catégories :

- Caméras 3D intra-oraales
- Caméras 3D extra-oraux

Composés de :

- Capteurs
- Convertisseur analogique numérique (A/D)
- Logiciels de reconstructions d'image permettant de générer un fichier au format compatible avec les logiciels de CAO.

1.4.2. Techniques D'acquisition Des Données Deux Grandes Catégories :

- Les scanners mécaniques fonctionnant par contact (numérisation tactile)
- Les scanners optiques fonctionnant sans contact (non tactile)

1.4.2.1. Scanner Avec Contact :

Il existe un contact direct, physique entre un "palpeur" et la surface à enregistrer. L'acquisition se fait depuis une position fixe, le palpeur se déplaçant autour du modèle immobilisé. Au contact de la pièce, la tige de palpation est déviée, ce qui active un commutateur optique. Ce type de scanner ne permet pas d'enregistrer des détails inférieurs au diamètre du palpeur, générant une imprécision de la pièce finale. Ce mode d'acquisition est devenu obsolète. [6]

1.4.2.2. Scanner Sans Contact :

Ils sont composés d'un émetteur qui génère un rayonnement de spectre variable : lumière blanche, laser ou rayon X. On les classe selon 3 technologies :

- Balayage de lumière structurée : Composé d'un laser ou vidéoprojecteur LCD qui émet un motif lumineux bidimensionnel sur la surface à numériser.
- Triangulation active : Faisceau laser sous la forme d'une ligne ou d'un plan, réfléchi par la surface puis enregistré par un capteur photosensible qui converti le rayonnement électromagnétique en signal électrique analogique.
- Holographie conoscopique : Faisceau laser dirigé sur l'objet à numériser, ce faisceau revient ensuite selon le même axe et passe au travers d'un cristal biréfringent qui génère un hologramme en fonction des variations de fréquence des rayons. [6]



Figure1. Extrémité du bras du palpeur. [7]

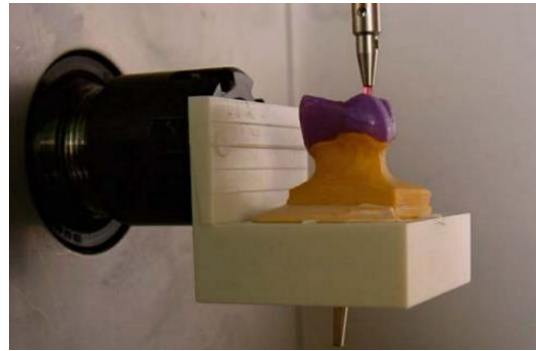


Figure2. Scanner mécanique. [7]

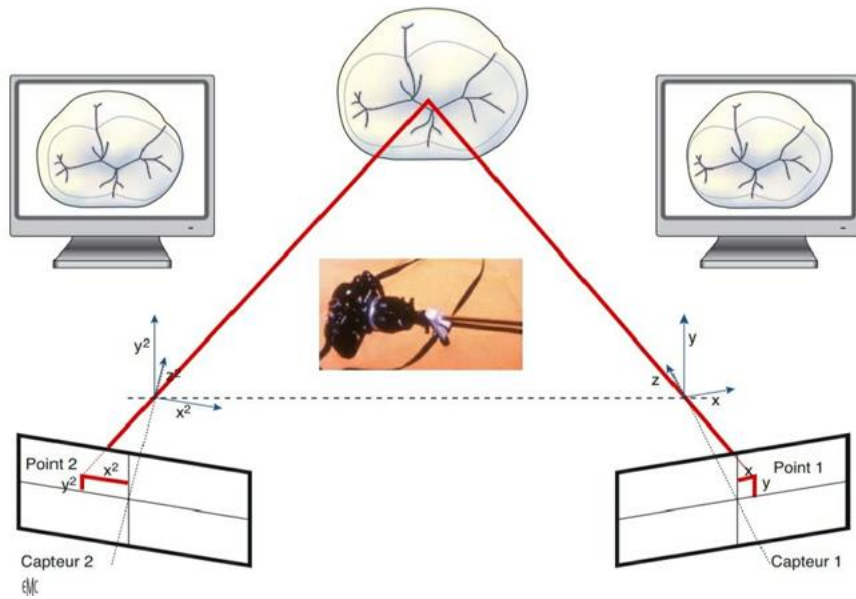


Figure 3. La méthode par triangulation sans lumière structurée. [8]

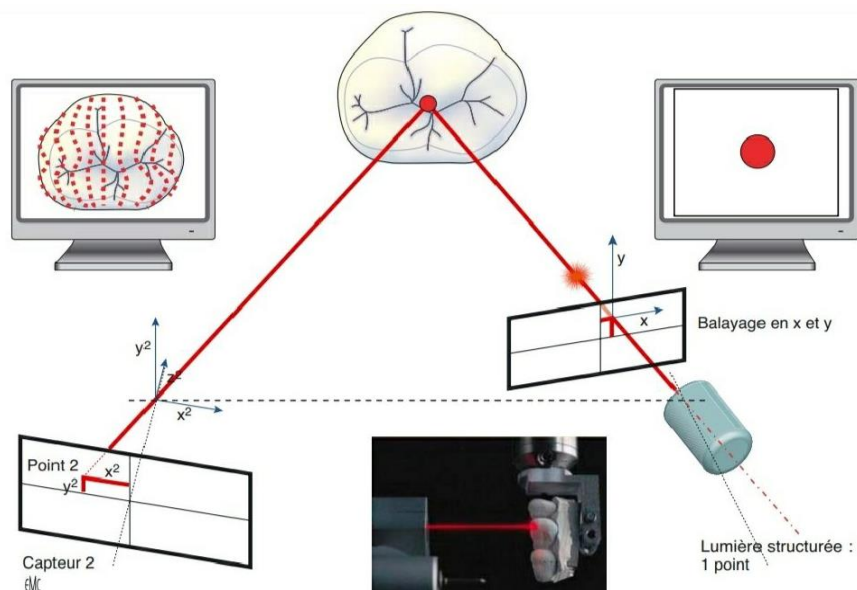


Figure4. La méthode par triangulation en lumière structurée. [8]

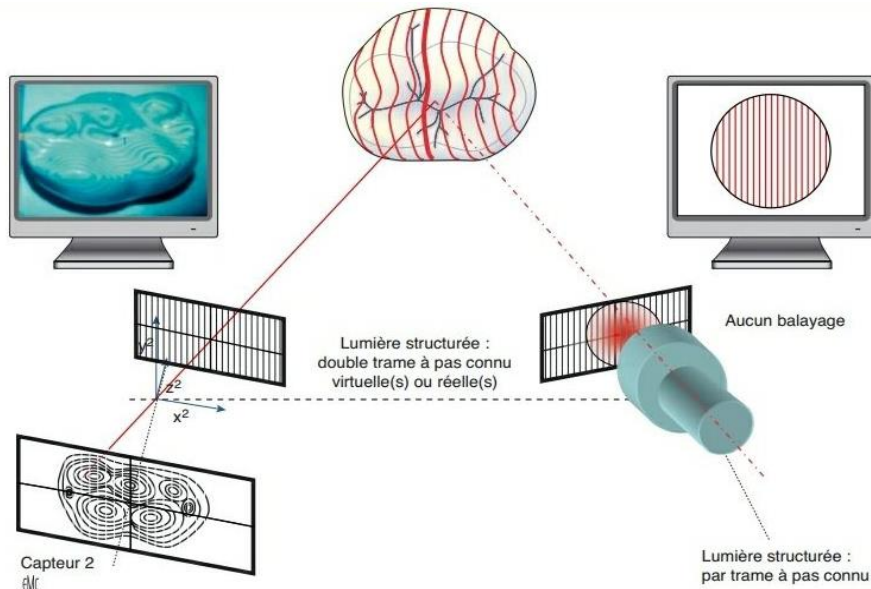


Figure 5. La projection d'une trame ou grille. [8]

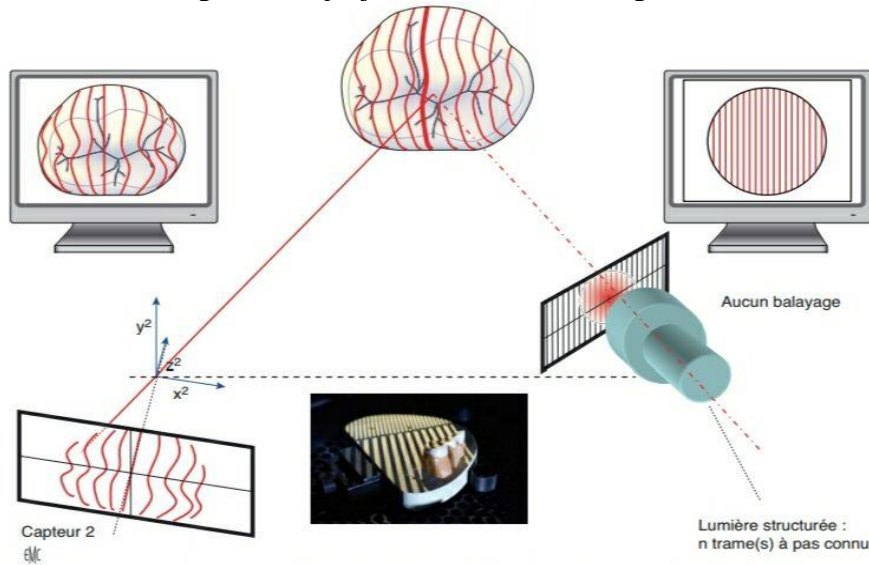


Figure 6. Moiré optique. [8]

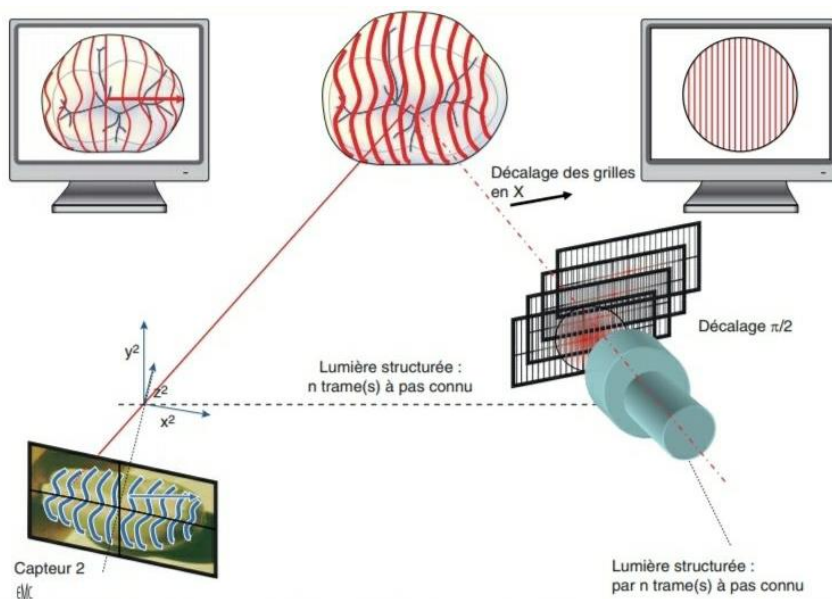


Figure 7 : Moiré électronique. [8]

1.5 LES DIFFERENTS SYSTEMES DE LA CFAO :

Les systèmes CFAO sont classés en systèmes de laboratoire et en systèmes de fauteuil.

1.5.1 les Systèmes De Laboratoire : sont classé en système dans lequel l'entreprise possède son propre scanner et ses propres unités de fraisage (par exemple, 3M ESPE, Sirona Dental Systems, Zirkon Zahn, vhf camfacture AG, Weiland Dental, Pou-Yuen et U-Best Dental, Planmeca, KaVoDental, Dentsply Prosthetics).

Tandis que les systèmes de CAO ou l'entreprise possède uniquement le scanner (par exemple, D2000,3 Shape ; Dental Wings 7 series, Dental Wings; IScan D104, Imetric 3D SA; Ceramill Map, AmannGirrbach; Activity 850 3D, Smart Optics)

Les systèmes FAO dans lesquels l'entreprise possède uniquement l'unité de fraisage (par exemple, DWX-50, Roland DGA Corporation ; inLab MC X5, Sirona ; M5, Zirkonzahn; Tizian Cut 5 Smart, Schu'tz Dental; S2 Model, vhf camfacture AG; Ceramill Motion 2, Amann Girrbach). [9]

1.5.2 Les Systèmes De Fauteuil :

(1) Système CAD CAM dans lequel l'entreprise possède son propre scanner et ses propres unités defraisage (Sirona et Planmeca).

(2) Système d'acquisition d'images dans lequel l'entreprise possède uniquement un scanner sans capacités de conception (par exemple, True Definition Scanner, 3M ESPE ; iTero, Align Technology, Inc ; Trios, 3Shape ; Apollo DI, Sirona ; CS 3500, Carestream Dental LLC).

Ces systèmes doivent ensuite être connectés à un scanner de laboratoire ouvert pour la conception de la restauration.

Le CAD/CAM peut être classé plus précisément en systèmes ouverts et fermés selon le partage des données.

1.5.3 Les Systèmes Fermés : offrent toutes les procédures de CAD/CAM, y compris l'acquisition de données, la conception virtuelle et la fabrication de la restauration par la même entreprise. De plus, toutes les étapes sont intégrées dans un seul système et il n'y a pas d'interchangeabilité entre les différents systèmes d'autres entreprises.

1.5.4 Les Systèmes Ouverts : permettent l'adoption des données numériques d'origine par des logiciels de CAO et des dispositifs de CAM de différentes entreprises. Les systèmes de CAO de laboratoire doivent toujours être des systèmes ouverts car, après l'acquisition des données et la conception de la restauration, les données doivent être stockées dans un fichier STL (STereoLithography or Standard Tessellation Language). Qui doit être envoyé à un système de

CAM de laboratoire ouvert, qui accepte ce type de fichier STL provenant du système de CAO de laboratoire où la restauration sera fabriquée. De plus, l'unité d'acquisition d'images est toujours un Système ouvert, et le fichier STL d'une certaine restauration peut être accepté par un système de CAO de laboratoire ouvert pour que la restauration soit conçue, puis envoyé à un système de ouvert FAO pour que la restauration ou le modèle soit fabriqué.

Lorsque des restaurations complexes doivent être fabriquées, telles qu'une barre d'implant ou des attaches, le modèle peut être scanné à l'aide de systèmes de CAD/CAM de laboratoire ouverts ou de systèmes de CAO de laboratoire, et le fichier STL peut être envoyé à un centre de production externe (par exemple, InfiniDent, Sirona ; Procera, Nobel Biocare ; Lava, 3M ESPE ; TurboDent, Pou-Yuen and U-Best Dental ; Ceram M-center, Amann Girrbach ; PlanEasyMill™, Planmeca) pour la conception et la fabrication de la restauration. De plus, lorsque le modèle numérique doit être fabriqué par numérisation des dents intra-orales, le fichier STL de l'unité d'acquisition d'images ou du système de CAD/CAM de fauteuil ouvert peut être envoyé à un centre de production externe pour que le modèle numérique soit fabriqué par fraisage ou technologie additive [9]



Fig 8. Le système CEREC 3

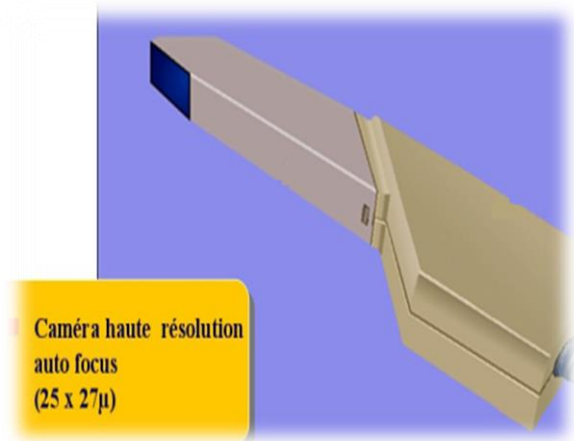


Fig 9. Caméra optique de système CEREC 3



Fig 10. Enregistrement du M.P.U. en plâtre par le palpeur du Procera® Forte

1.6 Domaines d'application :

Les applications de la technologie CFAO dans la dentisterie se développent très rapidement.

1.6.1 En prothèse conjointe :

La CFAO nous permet de réaliser des restaurations indirectes (inlays, onlays), de prothèses fixées unitaires et plurales, d'inlay-cores (**fig.11**), de facettes, des armatures de bridge petite ou grande étendue (**fig. 12**), de prothèses fixées supra-implantaires (collées ou vissées) et même de prothèses provisoires. [10]

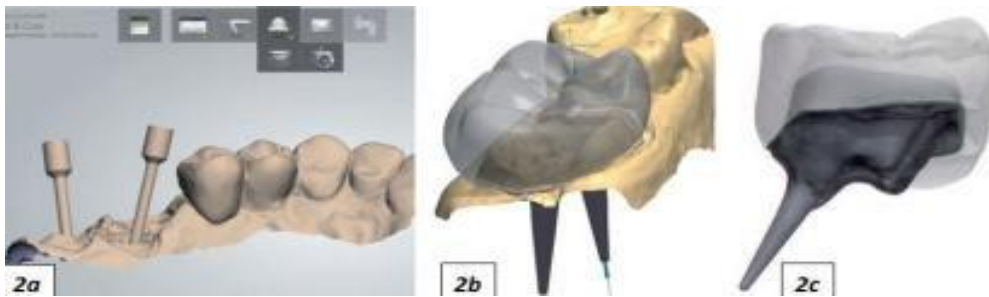
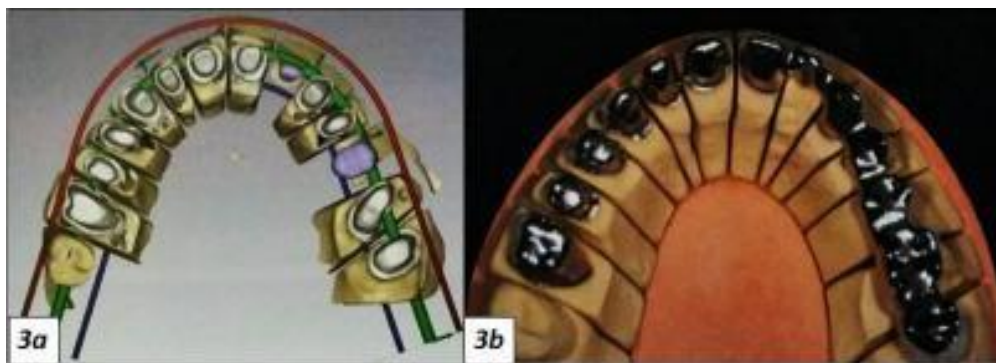


Fig. 11– Réalisation d'inlays-core par CFAO [11] a – Numérisation en situation, de corps de scannage ou scan body (tenon de référence, nécessaire pour la profondeur).

b – Conception sur logiciel CAO de l'inlay-core et couronne.

c – Inlay core et couronne réalisés en une seule étape par CFAO (Trios 3Shape).



. fig. 12 – Réhabilitation prothétique de grande étendue par CFAO [11].

a – Conception de l'armature sur logiciel de CAO. b – Chappes métalliques en cobalt-chrome après usinage

1.6.2 En prothèse adjointe :

Les logiciels dédiés permettent la conception des bases de prothèses complètes, des châssis métalliques en prothèse partielle et la stimulation de l'occlusion du patient sur articulateur virtuel.

La CFAO peut aussi être appliquée dans les prothèses amovibles et prothèses amovibles sur implants. [10]

1.6.3 En prothèses maxillo-faciales :

La CFAO trouve son application dans la confection de prothèses maxillo-faciales .Pour chaque application le flux numérique reste sensiblement le même mais les procédés de fabrication et les matériaux diffèrent. [10]

1.6.4 En implantologie :

La CFAO occupe une place de plus en plus importante en implantologie notamment avec la réalisation des piliers individualisés, des barres implantaire sur mesure et des guides chirurgicaux implantaires pour guider le geste chirurgical lors de la pose d'implants. [10]

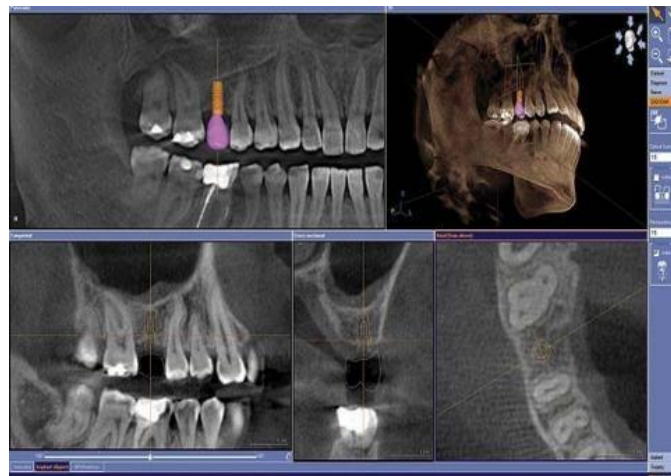


Figure 13 : Le logiciel GALILEOS Implant de Sirona [9]

1.6.5 En orthodontie :

La CFAO est utilisée aussi dans l'orthodontie invisible et dans la conception de certaines orthèses ou systèmes de gouttières de correction orthodontique qui représente une alternative au traitement orthodontique conventionnel (9). Parmi les solutions logicielles développées pour l'orthodontie par CFAO nous pouvons citer Invisalign®. Ces logiciels nous donnent la possibilité d'archiver les modèles numériques obtenus par empreinte optique, de planifier les traitements en réalisant des set-up et d'exploiter les données céphalométriques. [10]

1.7 Les avantages et les inconvénients de la CFAO :

1.7.1 Les avantages de la CFAO :

La CFAO est une révolution dans la manière de concevoir et de fabriquer des prothèses dentaires. Elle réduit considérablement le nombre d'étapes de travail, ainsi que le nombre de matériaux utilisés, en amont de la réalisation prothétique. Effectivement en technique traditionnelle, l'ajustement final de la prothèse est obtenu, non pas par une conservation exacte des données

initiales, mais par une série de compensation d'erreurs : matériaux à empreinte, coulée des modèles, technique de la cire perdue, mise en revêtement, pressée de la céramique et dans le cadre d'une chape, stratification et montage de la céramique cosmétique.

La CFAO tout au long de son cheminement (empreinte optique, CAO, FAO) tend à diminuer le risque d'imprécisions et offre de nombreux avantages :

Au niveau de l'empreinte optique intra orale :

- Le confort du patient et du praticien.
- S'abstenir de matériaux à empreinte, de leur stockage (imprécision indirecte liée au milieu), de leur désinfection, de leurs variations dimensionnelles et des erreurs liées à leur manipulation.
- L'analyse (agrandissement) et les possibilités de correction de la préparation au cours de l'empreinte grâce au modèle virtuel unitaire.
- Début de la chaîne prothétique numérique dès l'empreinte en technique directe et semi-directe.
- Précision de l'empreinte et stockage des données numériques de manière archivable et inaltérable (pas de variations dimensionnelles).
- Durée faible de 2 à 5 min.
- Envoi des données possible, rapide et facile par internet.
- Diminution du coût face au transport des empreintes traditionnelles.
- Peut faciliter la prise de teinte, lorsqu'elle présente un spectrocolorimètre intégré.
- Utilisation possible dans le domaine implantaire, directement sur le pilier de cicatrisation, ou en utilisant un système spécifique sur la tête implantaire (scanbody).

Au niveau de la CAO :

- S'abstenir de la coulée des modèles, des risques infectieux, des variations dimensionnelles.
- Création et conservation des modèles virtuels.
- Possibilité de reproduire tous les gestes traditionnels sur le logiciel de CAO.
- Contrôle permanent de la conception de la future prothèse.
- Rapidité d'exécution Au niveau de la FAO.
- Traçabilité des matériaux utilisés.
- Usinage rapide et précis et possibilité de faire des séquences au laboratoire.
- Usinage de la zircone possible ; Protocole reproductible.

- Possibilité en technique directe de réaliser la restauration en une seule séance
- Possibilité de produire un modèle de travail physique pour ouvrir les possibilités aux cas complexes.
- La CFAO est en perpétuelle évolution en raison des progrès de l'informatique. Elle est ouverte à de multiples applications dans le domaine dentaire englobant la prothèse conjointe, implantaire, l'orthodontie, mais aussi en prothèse amovible dans la conception des châssis métalliques. [12]

1.7.2 Les limites de la CFAO :

La CFAO, malgré de nombreux avantages, possède certaines limites : L'empreinte optique ne peut pas être réalisable dans toutes les situations et se réduit à l'enregistrement de ce qui est visible. De nouvelles techniques sont à l'étude pour pouvoir l'utiliser en milieu humide, ou en infra-gingival .De plus, son usage n'est pas possible pour les édentements de grande étendue en prothèse amovible, compte tenu de la difficulté d'enregistrement de la dépressibilité-muqueuse. [12]

Le changement offert par l'empreinte optique impose un apprentissage parfois long. Au niveau de la CAO, l'occlusion reste un élément très étudié. Son développement a pour objectif de retranscrire parfaitement la réalité clinique des mouvements mandibulaires en s'abstenant du passage par un articulateur physique. Les cas complexes restent encore difficiles à réaliser et nécessitent le passage par un modèle physique : ils restent donc réservés au laboratoire, ou aux centres-d 'usinage. [12]

La FAO est représentée majoritairement par l'usinage. Ce dernier subit des contraintes qui concernent l'usure du matériel mais aussi la difficulté d'usiner la zircone. Effectivement certains cas cliniques, et certaines céramiques, nécessitent l'utilisation d'usineuses puissantes (zircone HIP) avec un nombre d'axes conséquent et un protocole précis (zircone pré-frittée). [12]

La CFAO est une technologie "nouvelle" qui a un coût élevé, compris entre 20000 € pour un système semi-direct, à 120000 € pour un système complet direct. Le coût est encore plus élevé concernant les gros systèmes de CFAO à destination des laboratoires de prothèses, ou des centres délocalisés. Son prix d'acquisition et de fonctionnement peut rendre réticents ses futurs utilisateurs, et ralentir son développement au sein des cabinets dentaires et des petits laboratoires. Cependant, l'évolution des technologies et la concurrence entre les différents systèmes commerciaux devraient tendre à réduire les prix. [12]

Face au nombre important de fabricants existant sur le marché, il est nécessaire de sélectionner le système de CFAO convenant le plus à son activité (directe, indirecte, restauration unitaire, plurales, complexes) souhaité. [12]

Il est primordial de se concerter avec le laboratoire de prothèse afin de mûrir et d'harmoniser le choix

de la caméra optique et du logiciel de CFAO.

Le système de CFAO directe pose la question de la place des prothésistes dentaires dans la relation triangulaire praticien/patient/prothésiste. Ces derniers, afin de rester compétitifs, possèdent plus d'avance dans le domaine de la CFAO que les chirurgiens-dentistes. [12]

La CFAO modifie nos habitudes en matière de conception et de réalisation de prothèses. Elle tend à se démocratiser et à devenir inéluctable en pratique quotidienne, aussi bien au cabinet, qu'au laboratoire. [12]

2. CFAO et PROTHESE CONJOINTE :**2.1. Généralités Sur La Prothèse Conjointe :****2.1.1 Définition :**

La prothèse conjointe est un appareil thérapeutique définitive destiné à remplacer les dents perdues, afin d'assurer la fonction supportée par des dents piliers ou des implants posés au préalable et qui est collée, scellée ou vissée lorsque elle est sur implant.

2.1.2 Les Types De La Prothèse Conjointe :

Elle peut être :

- Unitaire a recouvrement partiel : Ce type ne recouvre que une partie des dents, (exemple : inlays, onlays, overlays ou facettes).
- Unitaire a recouvrement total dans ce cas la dent pilier est taillé dans tous les plans, sur laquelle va s'installer une couronne (exemple : CIV, couronne coulée, CCM, céramo-céramique...).
- Reconstitution corono-radulaire : elle trouve son indication lorsque la perte tissulaire est avancée touchant toute la couronne (exemple : couronne Davis, couronne Richmond, Inlay core).
- Comme elle peut être Plurale : (bridge) à plusieurs éléments. [13]

2.2. LES RESTAURATIONS FIXEES REALISABLE PAR LA CFAO :**2.2.1. LES FACETTES :**

Sont des coquilles qui recouvrent la face vestibulaire des incisives et des canines pour des raisons esthétiques.

Les indications des facettes dentaires sont les suivantes :

1. Décoloration légère : Les facettes peuvent être utilisées pour masquer les taches et les décolorations légères qui ne peuvent pas être traitées par un simple blanchiment interne. Cela peut inclure des taches causées par la prise de tétracycline, la fluorose ou la décalcification.
2. Prolongation ou reconstruction de plusieurs dents : Les facettes peuvent être utilisées pour prolonger les dents qui sont courtes ou pour reconstruire les dents qui ont été endommagées ou usées. Elles peuvent également être utilisées pour modifier la forme et le volume des dents pour un meilleur alignement et une meilleure esthétique dentaire.

3. Fermeture d'un diastème : Les facettes peuvent être utilisées pour fermer les espaces entre les dents, également appelés diastèmes, pour une apparence plus uniforme.
4. Abrasion ou altération de surface : Les facettes peuvent être utilisées pour masquer les rayures ou les marques de surface sur les dents, ce qui peut améliorer l'apparence globale des dents.
5. Restaurations multiples en composite : Les facettes peuvent être utilisées pour remplacer les restaurations en composite multiples sur les dents antérieures, pour une apparence plus uniforme et plus esthétique. [14]

2.2.2 LES INLAY /ONLAY/ OVERLAY :

Sont des pièces prothétiques qui offrent une bonne résistance mécanique et une intégration esthétique satisfaisante, ils peuvent être utilisés dans diverses situations, notamment :

- pour restaurer des cavités dentaires de classe I / II lorsque la perte de substance est de moyenne importance [loin de collet]
 - remplacer des restaurations existantes défectueuses,
 - préserver les tissus dentaires lorsqu'il y a une perte de substance importante.
- Ils peuvent également être utilisés pour réhabiliter une dent abîmée sans atteinte de la pulpe dentaire. [14]

2.2.3 LES ENDOCOURONNES :

L'endocouronne est une technique de restauration dentaire qui consiste en une couronne en céramique collée à la place de la chambre pulpaire. Elle présente un trottoir cervical supra-gingival qui permet de préserver l'émail dentaire et d'améliorer l'adhérence sans avoir besoin d'un ancrage radiculaire. Cette technique évite également la fragilisation de la dent causée par une préparation intra-canalair. [14]

2.2.4 LES INLAY CORE :

Également connus sous le nom de faux-moignons, étaient traditionnellement fabriqués en métal à l'aide d'une technique de cire perdue. Cependant, de nos jours, il est possible de les usiner en céramique en utilisant la technologie de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) en système indirect. Utilisé comme ancrage radiculaire (forte perte de substance dentaire). [14]

2.2.5 LES CHAPES POUR COURONNE ET BRIDGES :

Il est possible de fabriquer des chapes pour les couronnes ou bridges de petit étendu grâce à la technologie CFAO.

Cette technique implique l'utilisation de la CFAO indirecte, qui permet d'usiner simultanément la chape (avec une céramique d'infrastructure) et la structure esthétique. La conception et la fabrication de ces deux éléments nécessitent l'utilisation du système SIRONA In-Lab. La chape est usinée sans contre-dépouille afin que la structure esthétique puisse être adaptée à l'infrastructure. [14]

2.2.6 LES COURONNES MONOBLOC :

Les couronnes monoblocs "tout céramique" ont été l'une des premières restaurations "tout céramique" réalisées par CFAO. Initialement, leur utilisation était principalement esthétique. Cependant, avec l'évolution des propriétés optiques et mécaniques des matériaux céramiques, leur utilisation s'est étendue aux secteurs antérieur et postérieur. Les couronnes monoblocs peuvent être réalisées par CFAO directe, semi-directe ou indirecte. Cependant, grâce aux avancées technologiques, leur fabrication en CFAO directe est de plus en plus courante, ce qui permet une réalisation en une seule séance au cabinet dentaire. [14]

2.2.7 LES COURONNES SUR IMPLANTS :

La CFAO permet également une grande précision d'ajustement et de positionnement de la restauration implantaire. En effet, grâce à la numérisation de l'empreinte et à la conception assistée par ordinateur, la restauration est parfaitement adaptée à l'implant et à l'anatomie de la dent voisine. Cela permet de limiter les risques de complications post-opératoires, tels que les fuites bactériennes ou les irritations gingivales. [15]

2.2.8 BRIDGE PLURALE :

Grâce à la CFAO, il est possible de réaliser des bridges « tout céramique » pluraux, que ce soit en monobloc ou en armature avec une céramique cosmétique. Cependant, leur conception par ordinateur doit impérativement respecter certains principes pour limiter les risques de fractures. Le noyau en céramique est souvent renforcé au niveau des embrasures pour assurer une meilleure résistance mécanique. Les bridges « tout céramique » peuvent être envisagés dans le secteur antérieur ou postérieur, en fonction des impératifs mécaniques à respecter. La zircone est une céramique d'infrastructure qui peut être utilisée dans le secteur postérieur. Cependant, lorsque le nombre d'intermédiaires est trop important, le recours à l'implantologie est préconisé. [14]

2.3 COMPARAISON DES TECHNIQUES DE FABRICATION DES RESTAURATION FIXEES (CONVENTIONNELLE/ CFAO) :

	Technique Conventionnelle		CFAO	
	Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Facettes	<ul style="list-style-type: none"> - Passage par wax-up et mock-up pour valider la future restauration - Maquillage et finitions réalisés par leprothésiste 	<ul style="list-style-type: none"> - Passage obligatoire par une facette provisoire - Temps (plusieurs séances nécessaires) - Risques liés à la variation dimensionnelle du matériau à empreinte et du plâtre 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps : restauration en 1 seule séance. - Absence de temporisation par le port d'une facette provisoire - Empreinte optique - Confort pour le patient 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de l'esthétique : maquillage et finitions par le praticien, utilisation des blocs multicouches délicate - Empreinte optique : limites infra-gingivales non enregistrables.
Inlays/onlays	<ul style="list-style-type: none"> - Finitions et maquillage réalisées par le prothésiste 	<ul style="list-style-type: none"> - Variation dimensionnelle des matériaux. - Phase de temporisation avec la réalisation d'un inlay provisoire 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps : une seule séance - Absence de phase de temporisation - Validation de la préparation par l'empreinte numérique et sa visualisation 3D et enregistrement de données complémentaire dans la même séance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de l'esthétique - Limites infra-gingivales non enregistrables
Endocouronnes	<ul style="list-style-type: none"> - Finitions par le prothésiste 	<ul style="list-style-type: none"> - Variation dimensionnelle des matériaux - Temporisation avec la réalisation d'une endocouronne provisoire 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps - Absence de temporisation - Empreinte optique - Confort pour le patient 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion de l'esthétique - Limite infra-gingivales non enregistrables
Inlays-cores			<ul style="list-style-type: none"> - Confort pour le prothésiste (maquette en cire scannée puis usinée) 	<ul style="list-style-type: none"> - Empreinte optique au fauteuil impossible : passage obligatoire par le laboratoire de prothèse et un système de CFAO indirect.

<p>Couronnes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Finitions par le prothésiste - Stratification des céramiques 	<ul style="list-style-type: none"> - Variation dimensionnelle des matériaux - Temporisation 	<ul style="list-style-type: none"> - Temps - Absence de temporisation - Empreinte Optique - Confort pour le patient 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficultés pour les restaurations à forte exigence esthétique - Limites infra-gingivales non Enregistrables
<p>Bridges</p>			<ul style="list-style-type: none"> - Empreinte optique - Gestion numérique des axes d'insertion 	<ul style="list-style-type: none"> - Uniquement en CFAO indirecte ou semi-directe - Gestion de l'esthétique - Limites infra-gingivales non Enregistrables

3. LES MATERIAUX ACCESSIBLES EN CFAO :

Presque tous les matériaux les plus souvent utilisés en prothèse conventionnelle sont accessibles à la CFAO. Cependant, tous les systèmes actuels de FAO sur le marché ne donnent pas accès à tous les matériaux.

3.1 Métaux :

Les métaux utilisables sont le titane (grade 4), les alliages cobalt-chrome (CoCr). Les métaux précieux et semi-précieux peuvent être usinés mais rarement utilisés en raison du coût financier [16]. Même si aujourd'hui la céramique est devenue le matériau de restauration de choix afin de répondre aux nécessités d'esthétique et de biocompatibilité, l'utilisation de métal en prothèse fixée est encore d'actualité [17].

L'utilisation du titane peut être une alternative à la céramique dans certains cas cliniques en raison de sa biocompatibilité, sa résistance mécanique élevée et son absence de toxicité. Il est préféré aux alliages à cause des risques de corrosion électrochimique [18].

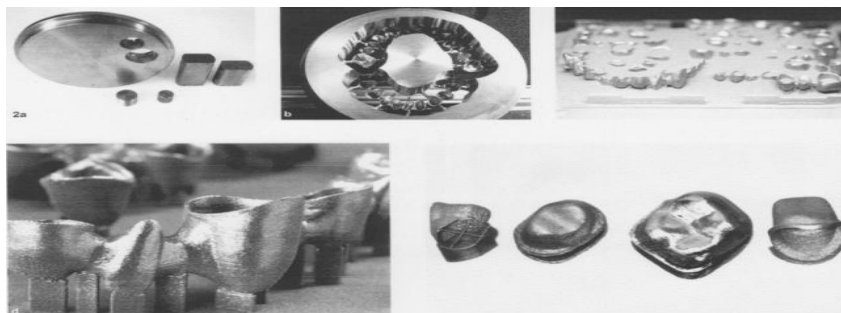


Figure 14 : Exemples de pièces prothétiques en titane et chrome-cobalt.

3.2 Céramiques

L'ancienne classification se basait sur la température de fusion. En effet, quatre grandes classes se démarquaient, les céramiques à haute « fusion », à moyenne « fusion », à basse « fusion », et enfin à très basse « fusion ». Aujourd'hui, on sait que les propriétés finales d'une prothèse céramique (résistance mécanique, microstructure, précision d'adaptation et propriétés optiques) sont la conséquence de la nature chimique du matériau et de son procédé de mise en forme.

Les classifications actuelles se basent donc, soit sur la nature chimique des matériaux céramiques, soit sur les différents procédés de mise en forme. En effet, c'est pour les céramiques que la CFAO a apporté le maximum de recherche en développant surtout les céramiques à haute résistance. Toutes les prothèses en céramique doivent avant tout respecter certaines normes, comme la norme ISO 6872. [19]

3.2.1 Les Céramiques Feldspathiques :

Le plus souvent présentées sous forme de blocs (fig. 15), les céramiques feldspathiques sont souvent renforcées à la leucite ($K_2AL_2SI_8O_{12}$) (pro CAD Ivoclar) : un feldspath moins riche en Silice, ou encore à l'albite ($NA_2AL_2SIO_{16}$) : un feldspath sodique. De plus elles sont renforcées par l'ajout de cristal de sanidine dans leur matrice vitreuse ($KALSIO_8$) (Vita Celay, Vita Mark II, Vita Triluxe) Elles possèdent de très bonnes propriétés optiques. Cependant, pour encore améliorer ces propriétés, et éviter un maquillage trop important après l'usinage, pour mieux reproduire la stratification naturelle de la dent, on a vu débarquer sur le marché des blocs multicouches (Vitabloc triluxs, IPS empress CAD multi). Ces blocs ont comme indications les inlays/onlays, les facettes, et les couronnes unitaires du secteur antérieur. Un maquillage, un traitement thermique et un polissage sont réalisés après l'usinage. [19]



Fig. 15 : Plot de céramique feldspathique pour l'usinage avec vue en transparence de la future prothèse.

3.2.2 Les Vitrocéramiques :

Ce sont des blocs de céramique au di silicate de lithium (fig. 16) (IPS e. max CAD, Ivoclar). Ce sont des matériaux mis en forme à l'état de verre, puis ils subissent un traitement thermique de cristallisation volontaire, contrôlé et partiel. Ils présentent des propriétés optiques similaires aux céramiques feldspathiques (à relativiser) avec des propriétés mécaniques supérieures. Utilisable avec ou sans infrastructure, en CFAO directe comme indirecte, un traitement thermique spécifique est nécessaire après l'usinage avec un polissage. On utilise ses blocs pour les facettes, ainsi que pour les couronnes unitaires antérieures sur dents pulpées. Pour augmenter leurs indications, Ivoclar propose quatre niveaux de translucidité : HT (haute translucidité), LT (Basse translucidité), MO (moyenne opacité), HO (haute opacité). Elles sont, comme les céramiques feldspathiques, aptes au collage, et leur assemblage doit obligatoirement faire appel au collage. [19]



Fig.16 : Plots de vitrocéramique pour l'usinage.

3.2.3 Les Céramiques Infiltrées :

Cette technique mise au point par Michael SADOON, permet d'obtenir d'excellents résultats cliniques. Ces céramiques accessibles artisanalement par le procédé de la barbotine, se sont démocratisées grâce à la CFAO. Il existe des blocs de céramique infiltrés poreux, et après l'usinage, l'infrastructure est infiltrée par un verre, puis subit un traitement thermique. Il existe trois formes de céramique infiltrée utilisables pour la CFAO comme infrastructures pour les couronnes céramo-céramiques. [19]

- IN CERAM SPINELL ($MgAl_2O_4$) : C'est une céramique très translucide, avec d'excellentes propriétés optiques pour les dents antérieures très lumineuses.
- IN CERAM ALUINA (Al_2O_3) : Cette céramique est surtout utilisée pour la réalisation d'infrastructures pour couronnes unitaires. Elle est opaque, mais possède de très bonnes propriétés mécaniques. [19]
- IN CERAM ZIRCONIA (33% De Zr et 66% D'alumine) : Ce sont des blocs de céramique pré-frittés infiltrés de verre après l'usinage. Différente de la Zirconie, cette céramique possède d'excellentes propriétés mécaniques, mais de moins bonnes propriétés optiques. Elle est surtout utilisée pour cacher un support coloré, ou par exemple un inlay core, ou dans le cas où les propriétés mécaniques doivent être renforcées (infrastructures unitaires postérieures, petits bridges). [19]

3.2.4 Les Céramiques Poly cristallines :

C'est l'exemple parfait de matériaux qui n'étaient pas accessibles avant l'apparition de la CFAO. Elles possèdent des propriétés mécaniques exceptionnelles, mais la qualité de la liaison avec la céramique cosmétique reste à améliorer. On distingue dans cette catégorie, l'Alumine et la Zirconie.¹⁹

3.2.4.1 L'alumine Pure :

Ce sont des blocs d'alumine pure pré frittée. Elle possède d'excellentes propriétés mécaniques et elle est semi-translucide. Elle est utilisée pour les couronnes unitaires et les petits bridges. [19]

3.2.4.2 La Zirconie Pure : $ZrSiO_4$

- LA ZIRCONIE TZP :

Elle n'est pas totalement pure, on lui ajoute 3% à 5% d'oxyde d'Yttrium ce qui stabilise la zirconie dans sa phase tétragonale (plus stable que dans la phase monoclinique) d'où son nom : zirconie oxyde TZP (Tetragonal Zirconia Polycrystal).

(Exemple : Lava Frame, Cercon Smart Ceramics, InCeram YZ). [19]

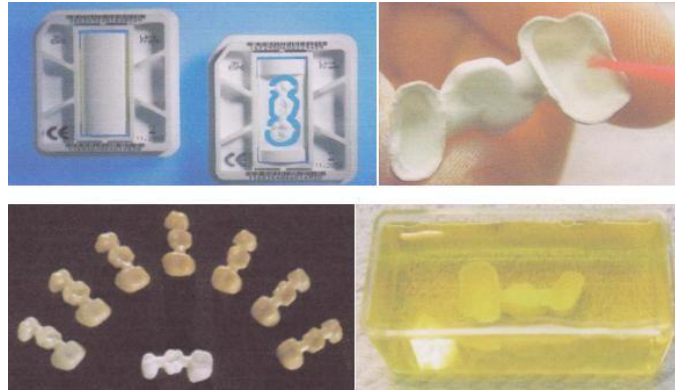


Fig. 17 : Exemples de pièces prothétiques en zircone obtenues par CFAO à partir d'un bloc, puis nettoyées après l'usinage, avec 7 teintes disponibles qui sont obtenues par un bain approprié.

Ce sont des blocs le plus souvent préfrittés, ce qui facilite l'usinage. Elle nécessite également un second frittage, après l'usinage, pour atteindre ses qualités mécaniques optimales. Cette étape provoque une réduction volumique de l'ordre de 25 à 30% qui doit donc être prise en compte par les logiciels de CFAO. Une traçabilité précise par code barre permet de gérer les modalités de cuisson de la pièce usinée. [19]

Elle possède d'excellentes propriétés mécaniques, ainsi qu'un pouvoir réflecteur important. Elles sont maintenant colorables, ce qui atténue ses faibles propriétés optiques. Elle est utilisée pour les couronnes unitaires, les bridges de trois à quatre éléments, ainsi que les piliers-implantaires. [19]

- LA ZIRCONNE HIP (fig. 18)

Elle est dite pure : son taux de zircone est au minimum de 93,6% La zircone doit être réduite en poudre homogène, qui est alors compactée à chaud sous une pression isostatique de 1000 bars transmise par fluide. C'est donc une zircone obtenue par une technique HIP : Hot Isostatique Pressing.

Ce sont donc des blocs ou des disques de zircone HIP prêts à l'usinage par des machines plus puissantes que la zircone TZP, à cause de sa haute résistance mécanique. Ces propriétés mécaniques permettent la réalisation d'armatures de bridges de grande étendue, voire de bridges complets monoblocs. La zircone HIP permet également la réalisation de pièces très fines et originales, telles que des attelles ou des attachements. Les différentes sortes de zircons sont recouvertes de céramiques cosmétiques correspondantes afin de masquer la zircone et de s'intégrer esthétiquement dans la bouche du patient avec ses caractéristiques esthétiques propres. De même que les propriétés mécaniques des différents types de

Zircones sont trop importantes pour un contact zircone-dent qui serait néfaste pour la dent, il convient donc de la recouvrir de céramique qui possède des propriétés mécaniques plus proches d'une dent naturelle.

Les propriétés de la zircone permettent le remplacement des procédés céramo-métalliques par les procédés céramo-céramiques et favorisent donc la disparition souhaitée du métal par les praticiens et les patients. [19]

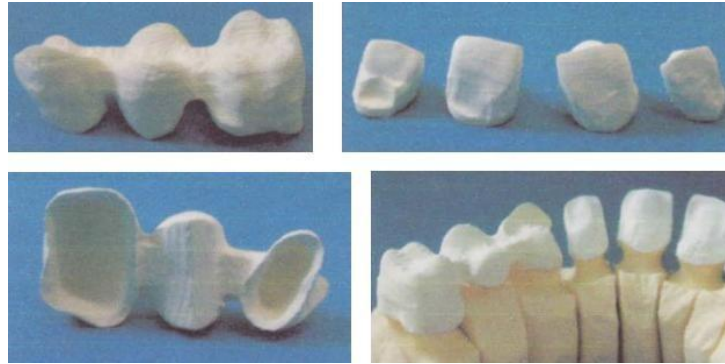


Fig. 18 : Exemples d'infrastructures en zircone obtenues par CFAO.

3.3 Les résines :

Matériau de choix pour la confection de provisoires, elles sont très facilement usinables et sont indiquées pour de simples couronnes unitaires comme pour des bridges de grande portée. La durée maximale en bouche est de 12 mois. Enfin certaines résines polymère chargées de fibre de verre peuvent servir d'infrastructure de bridge jusqu'à 6 éléments. [20]

3.4 Les matériaux hybrides :

Ces matériaux sont des céramiques hybrides inventées par le Dr Michal Sadoun. Ce sont des céramiques poreuses renforcées par infiltration sous haute pression d'un polymère [18]. Leurs propriétés sont encore à l'étude mais les premières recherches démontrent une usinabilité améliorée et une meilleure résistance à la fracture par rapport aux céramiques ainsi qu'une plus grande résistance à l'usure que les composite [21]

Matériau	Sous-catégorie	Indication
Céramique feldspathique		Inlay/onlay, facette, chip ou couronne unitaire antérieure
Céramique vitrocéramique		Inlay/onlay, facette ou couronne unitaire antérieure jusqu'aux PM (dent pulpée de préférence)
Céramique infiltrée	InCeram Spinell	infrastructure de couronne unitaire antérieure pulpée
	InCeram Alumina	infrastructure de couronne unitaire antérieure et postérieure ou de petit bridge antérieur (1 intermédiaire)
	InCeram Zirconia	infrastructure unitaire postérieure ou petit bridge de 2 intermédiaires. Bridge collé cantilever possible.
Céramique polycristalline	alumine pure	infrastructure unitaire ou petit bridge, antérieur ou postérieur
	zircone pure	infrastructure unitaire ou bridge
Métaux	titane	même utilisation qu'en prothèse traditionnelle
	Cobalt-Chrome	même utilisation qu'en prothèse traditionnelle
Résine		bridge provisoire armature de bridge composite ou résine

Tableau 03 : Indications des différents matériaux de restauration prothétique développés en CFAO.

Céramiques usinables	
Offre commerciale	Indications
<p>Zircone :</p> <p>Cercon, Lava, InCoris ZI et TZI (Sirona), ZirCAD (Ivoclar), BeCe CAD Zircon (Bego), Aadva Zr (GC), ZirLux FC et ST</p>	<p>Armature couronne unitaire et plurale 4 éléments, pilier implantaire, couronne monolithique (postérieure).</p>
<p>Alumine :</p> <p>Procera AllCeram (Nobel) InCoris AI (Sirona) In-Ceram AL (Vita)</p>	<p>Armature couronne et bridge 3 éléments antérieurs.</p>
<p>Céramiques infiltrées :</p> <p>In-Ceram Zirconia</p>	<p>Armature de bridge 3 éléments postérieurs.</p>
<p>In-Ceram Alumina</p>	<p>Armature couronne antérieure.</p>
<p>In-Ceram Spinell (Vita)</p>	<p>Armature couronne antérieure, inlay onlay.</p>
<p>Vitrocéramique enrichie en silicate de lithium et zircone :</p> <p>Celtra Duo (Dentsply), Suprinity (Vita)</p>	<p>Couronne antérieure et postérieure, couronne sur implant, inlay onlay, facette.</p>
<p>Vitrocéramique enrichie en disilicate de lithium :</p> <p>e.max CAD (Ivoclar Vivadent)</p>	<p>Couronne antérieure et postérieure, bridge 3 éléments en antérieur uniquement, pilier implantaire, inlay onlay, facette.</p>
<p>Vitrocéramique enrichie en leucite :</p> <p>Empress CAD (Ivoclar Vivadent)</p>	<p>Couronne antérieure, facette, petit inlay onlay.</p>
<p>Vitrocéramique enrichie en feldspaths :</p> <p>Mark II, Trilux et RealLife (Vita), Cerec Blocs (Sirona)</p>	<p>Couronne, inlay onlay, facette.</p>
Autres matériaux	
<p>Matériaux hybrides</p> <p>Enamic (Vita)</p>	<p>Couronne antérieure et postérieure, inlay/onlay, facette.</p>
<p>Nanocéramiques composites</p> <p>Lava Ultimate (3M ESPE)</p>	<p>Couronne (incluant couronne sur implant), inlay/onlay, facette.</p>

Tableau 04 citant les principales offres commerciales et leurs indications dans le domaine des céramiques usinables (Marniquet et al. 2014) [12]

4- SEQUENCE DE LA CHAINE NUMERIQUE :**4.1 Les étapes de la CFAO directe en cabinet :****4.1.1 Empreinte optique et caméras intra-buccales :**

En CFAO directe, le but est toujours de capturer avec précision la géométrie 3D de l'objet (le pilier) grâce à une caméra intra-orale qui va permettre la numérisation.

Toutes les caméras intra-orales sont composées de deux éléments :

- un émetteur qui projette un rayonnement optique sur un objet d'enregistrement
- un récepteur qui enregistre la déformation du rayonnement lumineux provoqué par les objets

Chaque point d'intérêt de l'objet est défini par ses coordonnées spatiales et une collection de celles-ci est envoyée à l'unité informatique. Grâce à des algorithmes de traitement d'image et de corrélation, les informations analogiques collectées sont transformées en données numériques.

Les caméras utilisent actuellement trois techniques d'empreintes digitales optiques :

- **Triangulation active** : Les objets à enregistrer sont éclairés avec une lumière souvent tramée pour une meilleure caractérisation. La lumière réfléchi est captée par le récepteur. La distance de l'objet est déterminée à partir de l'angle entre les faisceaux incident et réfléchi. Ex : cec omnicam, cec bluecam
- **Spectrophotogrammétrie** : Le sujet à enregistrer est éclairé. Les images des objets sont capturées par deux récepteurs distants. La distance qui relie les points sur ces deux images nous permet de déterminer la distance à l'objet. Origina; CondorScan, DWIO, GC Aadv IOS, scanners 3M True Definition.
- **Microscopie confocale** : Méthode d'observation d'un sujet à travers un objectif tout en modifiant la distance focale. La distance au sujet correspond à la distance focale pour laquelle l'objet apparaît le plus net. Ex : 3Shape Trios, iTero Element. [22]

En se connectant à un moniteur, la caméra permet la visualisation en direct des enregistrements.

La prise d'empreintes digitales se fait en continu en déplaçant simplement la tête de la caméra sur la zone à numériser. Quelques enregistrements peuvent être nécessaires et les ajouter peut affiner l'empreinte. Les trois phases de l'empreinte visuelle sont :

Empreinte préparatoire, empreinte antagoniste, enregistrement d'occlusion/OIM. [22]

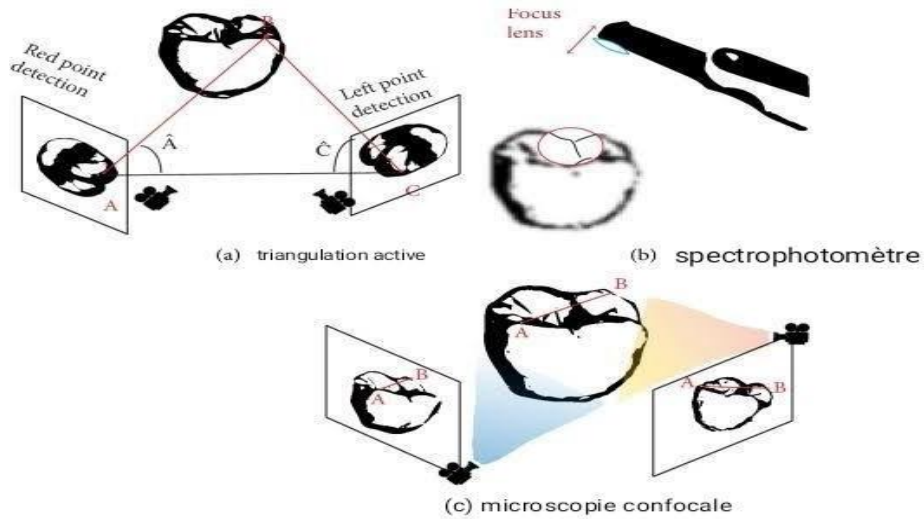


Figure 19 : les techniques d'empreintes digitales optiques

4.1.2 Conception (logiciel CAO) :

Tout d'abord, le logiciel permet de visualiser le modèle sous tous les angles, permettant ainsi la validation et la préparation des empreintes numériques, Les logiciels de CAO utilisent des modèles numériques pour permettre aux praticiens de tracer les limites des futurs composants prothétiques. Des algorithmes de détection des contours sont intégrés au logiciel pour faciliter la tâche. [22]

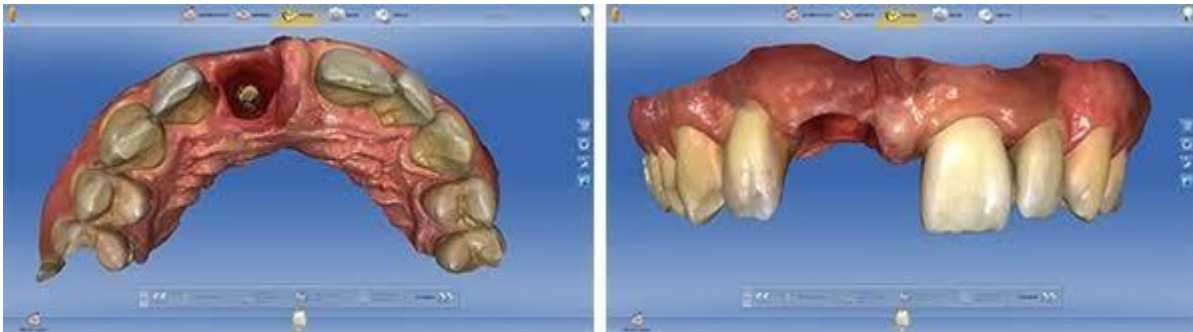


Fig 20 : impression visuelle en 3D

Une fois cette frontière tracée, le logiciel de CAO utilise un noyau graphique de modélisation géométrique polygonale pour créer la pièce prothétique virtuelle.

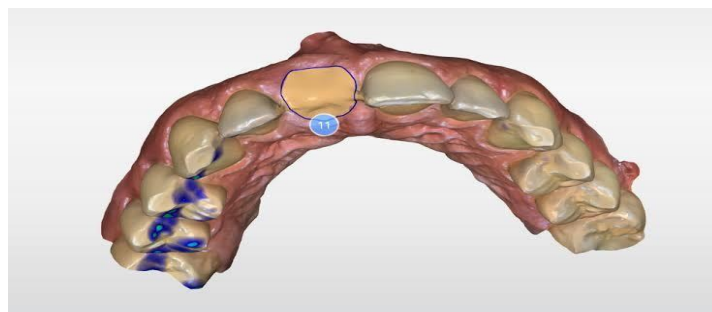


Fig 21. Tracé de la limite corono-périphérique

La modélisation polygonale utilise des maillages constitués de sommets (points dans l'espace) qui sont connectés pour former des arêtes qui forment des faces triangulaires ou quadrilatérales. Cette forme de modélisation se concentre sur la création manuelle du maillage, l'utilisation d'algorithmes pour diviser le maillage et le lissage pour "diviser" les facettes du maillage,

Par conséquent, l'objectif du balayage intra-oral 3D est d'acquérir automatiquement la géométrie 3D des dents naturelles en générant un modèle 3D via un maillage, le tout basé sur des "règles métier". [22]



Figure 22 : Visualisation CAO des prothèses (dans le cadre de l'implantologie)

Une fois le CAD créé, cette partie virtuelle permet au médecin de spécifier et d'ajuster plusieurs paramètres propres à la méthode de travail et aux différents cas cliniques. [22]

4.1.3 Fabrication (FAO par fraisage) :

4.1.3.1 Sélection des matériaux :

Toutes les familles de matériaux utilisés dans les prothèses traditionnelles sont disponibles en CFAO, mais les nouveaux matériaux ne sont disponibles qu'en CFAO (céramique poly cristalline, matériaux hybrides). Ces nouveaux matériaux pouvant être usinés (par CAO/FAO directe) par les praticiens au cabinet. [22]

Une fois que les matériaux de restauration ont été sélectionnés en fonction des indications cliniques, des choix esthétiques ou de la biocompatibilité, la phase de fabrication assistée par ordinateur de la partie prothétique peut commencer.

L'usinage de géométries complexes avec des machines-outils à commande numérique (MOCN) se déroule en deux étapes :

L'ébauche : enlève le maximum de matière en un temps court.

La finition : consiste à obtenir la forme finale souhaitée avec des caractéristiques de perfection et d'état de surface.

Dans la pratique dentaire CAD/CAM directe, les principaux critères d'inclusion pour MOCN sont :

- Restaurations possibles avec ce MOCN (inlays, onlays, facettes, couronnes unitaires, bridges, etc.) :

La principale différence concerne la taille des blocs disponibles donc l'étendue de la restauration (par ex Trois modèles CEREC : 20mm, 40mm, 85mm)

- Matériaux pouvant être traités : La majorité des machines MOCN usinent des céramiques, des résines et des composites. Cependant, l'infrastructure spécifique associée au laboratoire permet le traitement de tous les matériaux de CFAO (céramique, plastiques, oxyde de zirconium, métaux). [22]
- L'ajustement marginal des restaurations par le modèle MOCN n'a pas changé de manière significative, indiquant que toutes étaient conformes aux recommandations cliniques actuelles. Une étude de Bosch et al. ont conclu que le MOCN 5 axes offrait une meilleure intégration et finition de la prothèse que le MOCN 4 axes. [22]
- Nombre de moteurs (1 ou 2) : L'utilisation de deux moteurs réduit le temps d'usinage car l'un usine l'intérieur et le second l'extérieur. On parle de fraises « Step Bur » en intrados et « Pointed Bur » en extrados. Le diamètre du foret affecte la précision de la restauration : Celle-ci augmente lorsque le diamètre diminue.
- Coût et entretien. [22]

4.1.4 Maquillage et cuisson :

Après usinage, le praticien peut essayer la pièce prothétique en bouche, éventuellement pour une retouche et une caractérisation fine.

Après validation de l'essai, il peut être nécessaire de retravailler le composant prothétique.

Glaçure, coloration et cuisson pour améliorer non seulement l'esthétique mais aussi les propriétés mécaniques. [22]

- Glaçage : Permet un brillant naturel supérieur au polissage mécanique, améliore les propriétés mécaniques après cuisson et comble les imperfections et microfissures liées à l'usinage.

*Maquillage : Chaque bloc CAD/CAM a la couleur et la transparence que le dentiste doit offrir au patient, tout comme une prothèse traditionnelle. Cependant, le maquillage est essentiel pour caractériser ces restaurations, notamment pour des questions esthétiques dans la région antérieure. Il

Se divise en plusieurs étapes dont chacune est plus ou moins importante selon le niveau de caractérisation et d'esthétique recherché. [22]

Colorant shades : Une teinture "dentine" qui change la couleur de la céramique.

Colorants stains : Teinture antitaches : Maquillage intensif à effet temporaire (création de stries, crevasses, taches blanches)

- Cuisson : Certains blocs sont colorés (par ex IPS E.max CAD) pour informer les praticiens que le tir est indispensable, mais facultatif pour les autres (ex IPS Empress CAD) suit les recommandations du fabricant et fait gagner beaucoup de temps lorsque l'esthétique est secondaire (restaurations postérieures). Cependant, la calcination améliore les propriétés mécaniques en améliorant l'homogénéité du matériau et en corrigeant la fragilité induite par l'usinage. Il est donc recommandé. [22]

À propos des paramètres de cuisson : Température, niveau de remplissage, vitesse de chauffe... ils dépendent du matériau et doivent se baser sur les recommandations du fabricant. Le maquillage en matériaux composites et hybrides est photopolymérisable contrairement au maquillage céramique qui subit un traitement thermique et permet un travail poussé de teinte et de clarté par le jeu du maquillage « shade and stain ». [22]

4.1.5 Traitement de surface et pose de prothèse :

La procédure d'assemblage dépend des matériaux utilisés (le cabinet ne travaille qu'avec des céramiques usinées CAD/CAM), du type de substrat, du type de restauration (par exemple facettes, inlays, couronnes) et du système de fixation utilisé. Par conséquent, il est impératif de se référer systématiquement aux recommandations du fabricant pour les céramiques et les systèmes de fixation. [22]

Cependant, les trois étapes suivantes sont répétées : Sélection du système de fixation, conditionnement de la préparation, conditionnement de la restauration. [22]

4.1.5.1 Sélection du système de fixation :

Il existe Différentes méthodes d'assemblage ;

- Scellement Conventionnel : L'adhérence de la restauration est causée par le frottement entre l'adhésif et la restauration et entre l'adhésif et la préparation. Se préparer à tenir est nécessaire.
- Scellement adhésif : "Alternatives pour assembler des composites retenus ou des inlays en céramique à l'aide de ciments adhésifs CVIMAR, à condition que certains critères de

Préparation soient remplis : Murs résistants et formes contraintes. Un suivi régulier est indispensable dans ce cas. Certains professionnels de la pratique clinique ont observé une usure et une détérioration des joints après 18 à 24 mois. » (HAS 2009). [22]

- Collage Adhésif : Compatible avec la plupart des céramiques fabriquées par CAD/CAM Le collage s'effectue au moyen d'un collage, en particulier d'un collage chimique ou micromécanique entre le matériau de fixation et la restauration et entre le matériau de fixation et la préparation. Aucune préparation de rétention n'est nécessaire en raison de la liaison chimique ou micromécanique. [22]

Les adhésifs aux capacités de collage uniques simplifient les protocoles pour des résultats satisfaisants.

- Collage auto-adhésif : Aucune préparation de surface préalable n'est nécessaire car l'adhésif a des propriétés auto-mordançantes contre les dents. Étant donné que ces adhésifs sont plus récents. [22]

4.1.5.2 conditionnements de la préparation : émail et dentine :

Si une fixation adhésive est nécessaire, il est impératif d'isoler la dent préparée dans un champ opératoire.

Lors de la fixation d'une restauration partielle collée (RPC), il est préférable de sceller la dentine dès que possible après l'usinage et avant de prendre l'empreinte. [22]

C'est le "Scellement immédiat de la dentine" ou IDS : Un système adhésif en trois étapes de type mordantage-rinçage (MR3) a été développé, notamment pour améliorer la force de liaison et sa fiabilité à long terme, prévenir la surinfection bactérienne, et réduire la sensibilité dentaire post-traitement à l'application. Les composites liquides peuvent être utilisés pour les contre-dépouilles préservant les tissus et pour la restriction sous-gingivale (élévation de la marge sous-gingivale). [22]

En scellement adhésif, le protocole de traitement des substrats dentaires dépend de l'adhésif utilisé.

- MR3 : Mordancer à l'acide phosphorique (30 secondes en moyenne pour l'émail, 15 secondes pour la dentine) et rincer. Application PRIMER. Application de résine adhésive.

-MR2 : Faire tremper puis laver. Revêtement avec une combinaison de primer et de résine adhésive.

-SAM2 : Système d'auto-mordantage : Appliquer le primer puis la résine.

-SAM1 : Il combine les fonctions d'un caustique, d'un primer et d'un adhésif en un seul produit.

SAM permet de graver l'émail pendant 15 secondes.

Soyez conscient du risque d'incompatibilité entre le SAM et l'adhésif. [22]

4.1.5.3 Conditionnement de la restauration :

Plus la matrice de la céramique est vitreuse, plus la liaison est forte. A l'inverse, les chapes à phase majoritairement cristalline (oxyde de zirconium) sont très difficiles à coller.

• pour la céramique feldspathique :

- Conditionnement de la restauration : Dégraisser à l'éthanol. Appliquer le gel d'acide fluorhydrique sur l'intrados à 5 % pendant 60 secondes. Laver. Sécher. Appliquer du silane et laissez-le s'évaporer. Appliquer de la colle, laissé sécher, ne pas photopolymériser. Protéger de la lumière.
- Préparation Conditionnement : Etching dans un gel d'acide phosphorique à 35 % pendant 30 s. sec. Appliquer le primer et l'adhésif. Photopolymérisation 60 secondes. [22]

• Protocole pour les céramiques enrichies en leucite : Identique à la céramique feldspathique

- Colle Variolink II + MR3. Convient à tous les types de prothèses.
- Multilink Automix + SAM2 (hors facettes):
- Application de primer, pas de gravure préparatoire. [22]

• Protocole pour les céramiques renforcées au disilicate de lithium :

Recommandations du fabricant : Scellement adhésif, auto-adhésif ou conventionnel.

- Conditionnement de la restauration : Le protocole est le même que pour la céramique feldspathique, mais la restauration n'est mordancée que pendant 20 secondes.

- Préparation Conditionnement : Pour le collage, le protocole est le même. Appliquer un primaire pour scellement auto-adhésif sans phosphate conditionnant l'émail ou la dentine. La cimentation traditionnelle ne nécessite ni mordantage ni primer. Cependant, les deux dernières techniques sont contre-indiquées pour la pose de facettes, d'inlays/onlays ou de couronnes partielles. [22]

• Protocole pour les céramiques renforcées au silicate de lithium et à la zircone : Scellement adhésif (tous types de prothèses) ou scellement auto-adhésif (couronnes uniquement). Protocole de collage conventionnel tel que décrit ci-dessus avec mordantage de 20 secondes de la restauration Le scellement conventionnel n'est pas recommandé. [22]

- Le protocole pour les céramiques hautement cristallines :

Recommandations des fabricants : scellement au CVIMAR avec sablage de l'intrados à l'alumine possible. [22]

	Forme commerciale	Cuisson	Conditionnement de la restauration	Conditionnement dentaire	assemblage
Feldspathiques	Vita mark II, Triluxe forte,	indispensable	acide fluo 60s + silane	Total-Etch Bonding	Collage adhésif
Leucite	Empress	facultatif	acide fluo 60s + silane	Self-Etch / Total-Etch Bonding	Dual + MR/SAM
Disilicate de Lithium	E.max	indispensable	acide fluo 20s + silane	Total-Etch Bonding	Collage adhésif
Silicate de lithium Renforcé à la zircone	Suprinity celtra duo	Indispensable facultatif	acide fluo 20s + silane	Total-Etch Bonding	Collage adhésif
Dioxyde de Zirconium	Incoris TZI C/vitaYZ	indispensable	Sablage	Non	Scellement / Cvimar
Céramiques hybrides	Cerasmart / Enamic	non	acide fluo 60s + silane	Selective Etch possible	Collage adhésif
Résine nanocéramique	Lava ultimate	non	Sablage	Total-Etch Bonding	Collage adhésif

Tableau 05 : Protocoles de mise en place prothétique selon les matériaux utilisés en CFAO

4.2 Les étapes de la CFAO semi directe :

La CFAO semi-directe impose au praticien de travailler avec un laboratoire de prothèses ou un centre délocalisé : Ces 2 derniers assureront la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et la FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur). [24]

4.2.1 Réalisation de l’empreinte numérique dite « empreinte optique » :

Une empreinte optique intra-buccale est réalisée à l’aide d’une caméra optique au sein du cabinet dentaire.

Dans ce système la caméra optique est perçue comme un « porte-empreintes électroniques ». Elle se présente sous plusieurs versions ou systèmes :

- les stations ou chariots, qui assemblent la caméra optique à un moniteur roulant incluant un logiciel de traitement des informations numériques. C'est une version prête à l'emploi.
- les caméras portatives connectables sur port USB ou « FireWire » (système de connexion entre périphérique permettant de faire circuler des données à haute vitesse en temps réel). Celles-ci peuvent se connecter à notre ordinateur portable et possède un socle de repos ou non.
- Il existe enfin des unités dentaire qui intègrent directement la caméra optique ainsi qu'un écran (tablette Android ou Apple...). Cette version s'installe progressivement car elle rend l'utilisation plus aisée, plus rapide à mettre en place et avec moins d'encombrement (Planmeca, Sirona, 3Shape, GC). [11]



fig. 23 – Les différents systèmes d'empreinte optique intra-buccale.

a – Les caméras sur chariot, de gauche à droite, l’Apollo DI (Sirona), le True Définition (3M), la TRIOS (3Shape), la MiA3d (densys3D). b – Les caméras connectables, de gauche à droite, la TRIOS Pod 3Shape, le CONDOR Intra Oral Scanner, la CYRTINA Intrascan. c – Les caméras intégrées à l’unit, PLANSCAN (Planmeca).

Pour le patient, cette approche permet de s'abstenir des contraintes de l'empreinte traditionnelle, notamment face au risque nauséux, et de bénéficier de la précision et de la modernité des systèmes de CFAO. De ce point de vue nous notons la même qualité d'ajustage des restaurations cliniques en CFAO directe, et semi-directe. [11]

4.2.2 Envoi des données au prothésiste :

La version numérique de l'empreinte optique intra-buccale est adressée par internet au prothésiste (ou au centre délocalisé). Les fichiers informatiques issus du traitement des données de la caméra doivent pouvoir être lus et interprétés par le logiciel de CAO du laboratoire de prothèse afin de pouvoir réaliser par la suite la conception de la prothèse. [24]

4.2.3 Modélisation 3D :

Avant l'usinage par FAO, la future prothèse doit être modélisée sur ordinateur à partir d'un modèle virtuel issu d'une empreinte optique (absence de modèle physique). Cette conception virtuelle, réalisée par le prothésiste, nécessite un savoir-faire, une maîtrise des nouveaux logiciels informatiques et donc une formation appropriée en amont. [23]

4.2.4 Usinage :

Le prothésiste peut, suivant la complexité du cas, réaliser un modèle physique (imprimé, usiné, stéréolithographique) et ainsi avoir accès aux méthodes conventionnelles si nécessaire (chaîne partiellement virtuelle). Le modèle physique permet la gestion des restaurations plurales étendues qui imposent un montage en articulateur, ou des cas esthétiques qui nécessitent une stratification céramique sur armature. Ce modèle est extrêmement précis (de l'ordre du micron) par rapport au modèle en plâtre et les limites de finition et points de contacts ne se détériorent pas pendant les étapes de réalisation prothétique. En revanche la fabrication de ces modèles par usinage ou procédé additif va augmenter le coût de revient de la restauration (par rapport à un modèle en plâtre). [11]

4.2.5 Finitions :

Le développement de projets prothétiques peut être complété après finalisation et validation confirmer. Ainsi, les techniciens prothésistes pourront démarrer la production, qui variera selon les cas et le matériau choisi. [11]

4.2.6 Retour au cabinet dentaire :

Après la vérification de l'élément prothétique par le prothésiste au niveau de laboratoire, la prochaine étape se fait au niveau du cabinet dentaire où le praticien continue le travail avec le patient. [11]

4.2.7 Vérifications et pose de la prothèse :

Le praticien vérifie l'élément prothétique puis pose à sa place, c'est la dernière étape de la réalisation d'une prothèse par la technique de CFAO semi directe.

Les délais de réalisation en CFAO semi-directe sont comparables à ceux des techniques conventionnelles, de l'ordre de cinq jours. [11]

4.3 Les étapes de la CFAO indirecte :

4.3.1. Les étapes cliniques :

Dans le cadre de la CFAO indirecte, les empreintes seront prises de manière « traditionnelle » par enregistrement surfacique. C'est le point de départ de toute réhabilitation prothétique, chaque cas est unique et demande réflexion quant à la technique et le matériau utilisé.

De plus l'enregistrement des relations intermaxillaires (RIM) est une obligation pour toutes restaurations prothétiques.

Notons également qu'il est conseillé de prendre des photographies lors de la première séance, elles apportent des informations précieuses au laboratoire et permettent également de montrer au patient l'évolution en fin de traitement. [25]

4.3.1.1. Les empreintes surfaciques :

4.3.1.1.1. L'accès aux limites cervicales :

4.3.1. 1.1.1.Principes :

L'objectif principal de l'empreinte est l'accès aux limites cervicales afin d'enregistrer le profil d'émergence sur la périphérie de la préparation.

Le sulcus est ouvert momentanément, sans le léser afin que le matériau à empreinte y fuse. La condition préalable pour atteindre cet objectif est un état parodontal sain c'est-à-dire un sulcus non inflammatoire limitant ainsi la production du fluide gingivale et les saignements lors de sa manipulation. Pour ce faire :

- Thérapeutique parodontale initial ;
- Elongation coronaire ; [25]

4.3.1. 1.1.2.Techniques :

Il existe deux types de techniques permettant l'accès :

4.3.1.1.1.2.1. Techniques par déflexion :

C'est l'écartement des tissus, comprenant les moyens mécaniques, chimiques et chimio-mécaniques.

A/Les moyens mécaniques :

Il existe deux techniques : la technique du simple cordonnet et celle du double cordonnet.

1. La technique du simple cordonnet :

La technique consiste à appliquer un cordonnet dans le sulcus de proche en proche, tout autour de la dent préparée, au-delà de la limite cervicale, pendant une durée suffisante avant l'empreinte. [26]

2. La technique du double cordonnet :

Un premier cordonnet, fin, est placé dans le fond du sillon gingivo-dentaire. Il va assurer la déflexion apicale. Ensuite, un second cordonnet, plus épais, imprégné d'une solution vient finir de combler le sillon et assurer la déflexion horizontale.

Juste avant l’empreinte, seul le second cordonnet épais est retiré : le cordonnet fin reste au fond du sulcus. [26]

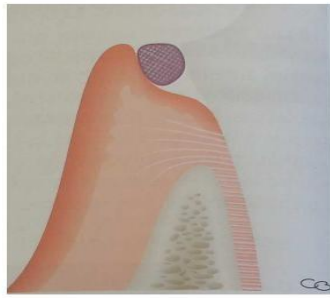


Figure 24 : Technique du simple cordonnet

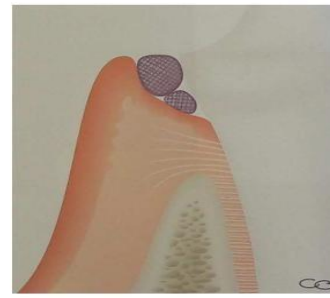


Figure 25 : Technique du double cordonnet

3. Magic FoamCord® :

C’est une « mousse magique ». Son nom vient du fait que de l’hydrogène se libère lors de son application, créant des bulles et donnant au matériel au matériau une texture d’éponge, de mousse.

C’est une technique purement mécanique, grâce à l’expansion de la silicone. [26]



Fig 26. Magic FoamCord



fig 27. Magic FoamCord® appliqué dans le sulcus

B/ Les techniques chimio-mécaniques :

Ce sont des techniques hybrides : elles associent une action mécanique avec une solution chimique.

1. Les cordonnets imprégnés :

Le cordonnet, que ce soit en technique simple ou double (seul le second cordonnet dans ce cas), peut-être pré-imprégné (« imprégné-séché ») ou trempé dans une solution astringente avant sa mise en place. Le but de cette technique est de potentialiser la déflexion. [26]

2. Les pâtes gingivales :

Nous avons choisi ici de détailler la pâte Expasyl® car c’est la première pâte à avoir été commercialisée. Le principe de cette pâte visqueuse repose sur l’effet hémostatique et astringent du chlorure d’aluminium et de l’expansion hygroscopique du kaolin après contact avec le fluide gingival. Elle assure l’écartement de la gencive marginale tout en asséchant le sulcus. [26]



Figure 28 : Expasyl® appliqué dans le sulcus

Techniques / Caractéristiques		Simple cordonnet	Double cordonnet	Expasyl	Magic Foamcord
Nature du parodonte	Fin et Festonné	--	-	-	-
	Epais et Festonné	-	+	++	+
	Epais et Plat	+	++	+	+
Hauteur de gencive attachée	Insuffisante	--	-	-	-
	Intermédiaire	-	+	++	+
	Suffisante	+	++	++	++
Limite cervicale	IntraSulculaire	-	++	+	++
	Mi – hauteur	+	+/-	++	++
	Juxta Gigivale	++	--	++	++

Tableau 06: Avantages et inconvénients des techniques par déflexion

4.3.1. 1.1.2.2. Techniques par éviction :

C’est par soustraction de tissus, encore appelées techniques chirurgicales, comprenant le curetage rotatif, l’électrochirurgie et le laser.

1. Le curetage rotatif :

Le curetage rotatif réalise une double opération : l’éviction d’une faible épaisseur de l’épithélium interne de la gencive libre, simultanément la préparation de la dent support en réalisant :

1. Soit la préparation de la limite cervicale.
2. Soit le chanfrein de la limite cervicale.

3. Soit en supprimant les prismes d’émail non soutenus après mise en place de la limite cervicale. [26]

2. L’électrochirurgie :

Le versant interne de la gencive libre va être éliminé à l’aide d’un bistouri électrique, par vaporisation tissulaire. Elle fait appel à l’utilisation de courants à hautes fréquence redressés et filtrés par le biais d’une électrode fine, ainsi les cellules en contact avec cette électrode seront volatilisées. [26]

3. Le laser :

La majorité des lasers utilisés en odontologie (diodes, Nd-YAG, Er-YAG, CO2) sont capables de traiter les tissus mous. Les plus utilisés sont le laser diode avec une longueur d’ondes de 980 nm et le laser Neodyne-YAG, d’une longueur d’ondes de 1064 nm. Après avoir déterminé les paramètres du laser, la fibre optique est insérée à l’intérieur du sulcus à la limite du feston gingival, parallèlement au grand axe de la dent. L’éviction se fait en activant le laser grâce à une pédale et en réalisant un mouvement circulaire autour de la dent. Il est parfois nécessaire de faire plusieurs fois le tour de la dent. [26]

Techniques / Caractéristiques		Curetage rotatif	Electro - chirurgie	Laser
Nature du parodonte	Fin et Festonné	-	-	-
	Epais et Festonné	-	-	-
	Epais et Plat	++	++	++
Hauteur de gencive attachée	Insuffisante	--	--	--
	Intermédiaire	-	-	-
	Suffisante	++	++	++
Limite cervicale	IntraSulculaire	++	++	++
	Mi – hauteur	+	+	+
	Juxta Gigivale	+	+	+

Tableau 07 : Avantages et inconvénients des techniques par éviction

4.3.1.1.2. Les matériaux à empreinte :

Les qualités nécessaires pour un matériau d’empreinte idéal sont :

- Facilité de manipulation.
- Temps de travail long, mais temps de prise en bouche court.
- Hydrophile et tolérance à l’humidité.

- Précision de reproduction des détails.
- Stabilité dimensionnelle immédiate et différée.
- Résistance au déchirement.
- Désinfection possible.
- Compatibilité avec les matériaux de reproduction.
- Coût raisonnable.

Tous les matériaux ne peuvent regrouper ces qualités entièrement, à chaque situation clinique il conviendra d'utiliser le matériau adéquat.

Afin de répondre à l'obligation de précision, d'adaptation et du respect du profil d'émergence les matériaux les plus utilisés depuis les années 70 en prothèse conjointe sont les élastomères silicone. Cette famille de matériau possède les facultés nécessaires à l'enregistrement des limites. De plus ils sont disponibles dans une grande variété de viscosités (haute, moyenne, basse) permettant de s'adapter à chaque situation clinique. [25]

4.3.1.1.3. Techniques d'empreintes surfaciques :

Dans le cadre d'enregistrement de la limite en prothèse conjointe elles sont au nombre de deux :

- **Double mélange** : rapide mais compression relative et risque de tirage élevé, utilisée pour des préparations supra et juxta gingivales parfois intra sulculaire pour un parodonte fin.
- **Wash technique** : compressive, peu de risque de bulle, la séance sera plus longue et il y a un risque de mauvais repositionnement. Elle sera utilisée dans un cas où la limite est intra sulculaire et le parodonte plutôt épais.

Pour tous les cas de réhabilitation (unitaire ou multiple) en prothèse fixée il faudra toujours favoriser les empreintes globales aux sectorielles avec des portes empreintes rigides et indéformables augmentant ainsi la compression limitant le risque de bulle. Une mise en condition tissulaire consciencieuse et l'utilisation des matériaux selon les normes du fabricant permet de limiter les risques de déformation. [25]

4.3.1.1.4. Contrôle de validation de l'empreinte :

Le praticien contrôlera l'absence de bulle, de manque, de tirage. La présence d'une petite collerette au-dessous de la limite signe la réussite de l'enregistrement du profil d'émergence.

Cette précision est primordiale pour le futur détournement du prothésiste qui facilitera la lecture de la limite cervicale. [25]



Figure 29 : Empreinte double mélange avec présence de la collerette

4.3.1.2. Gestion de l'occlusion :

4.3.1.2.1. Rappel :

La mise en place de prothèse a pour but de consolider et de reconstruire une ou des dents malades ou absentes. Un des objectifs du traitement dentaire est le rétablissement de l'occlusion, on recherche ainsi à rétablir ou améliorer la fonction masticatoire.

Le praticien se doit d'effectuer un diagnostic occlusal pré prothétique minutieux qui permettra de dépister des troubles occlusaux. Le plan de traitement devra en tenir rigueur afin de les traiter et surtout de ne pas créer de troubles iatrogènes. L'examen occlusal complètera les examens clinique et radiologique. . [25]

4.3.1.2.2. Les fonctions occlusales :

Afin de faciliter les diagnostics occlusaux, il a été proposé en 1996 de définir les fonctions occlusales en fonction de calage, de guidage et de centrage. Selon les travaux de JD Orthlieb et al :

- La fonction de calage est une stabilisation dentaire et mandibulaire durable, l'intercuspidation entraîne la quasi-totalité des dents cuspidés.
- La fonction de centrage est une position mandibulaire non contraignante, L'intercuspidation engendre des contraintes musculo-articulaires minimum.
- La fonction de guidage engendre des mouvements mandibulaires symétriques, simples et non bridés, l'intercuspidation n'a pas de contraintes postérieures ou de limites antérieures.

On recherchera donc un trouble de ces fonctions lors de l'examen occlusal. . [25]

4.3.1.2.3. Enregistrements des relations intermaxillaires :

A. Sans DAM diagnostiqués :

Dans le cadre de restauration unitaire ou de faible étendue sans dysfonctionnements de l'appareil manducateur (DAM) l'enregistrement des relations intermaxillaires (RIM) pourra se faire uniquement à l'aide d'un mordue.

Celui-ci peut être exécuté de deux manières :

- Mordu en OIM.
- Mordu en FGP (Functionally Generated Path).

Le FGP est un procédé déjà présenté par Meyer en 1934 puis par Dawson en 1992, on y retrouve un intérêt aujourd'hui grâce au logiciel de CAO. En effet il consiste en un enregistrement par mordu en deux temps, un premier traditionnel en OIM et un second mettant en jeu la fonction de guidage. . [25]

B. Avec DAM diagnostiqués :

Dans le cas de restauration de grande étendu ou de DAM diagnostiqué il faudra toujours passer par une analyse occlusale instrumentale, c'est-à-dire un enregistrement des RIM à l'aide d'un arc facial et d'un montage sur articulateur. . [25]

4.3.2. Les étapes laboratoires :

Les étapes laboratoires en CFAO indirecte prennent en charge la conception et la fabrication de la future prothèse. La conception sera menée à l'aide d'un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et la fabrication utilisera un logiciel distinct dit de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur).

Avant d'entamer la chaîne numérique les empreintes surfaciques vont devoir subir un traitement, celui-ci est le même qu'en conception « traditionnelle ».

4.3.2.1. Traitement des empreintes :

Le traitement conventionnel des empreintes comprend plusieurs étapes que sont :

- La désinfection
- La coulée des modèles
- La mise en die (Modèle positif unitaire)
- Le détournage (détermination avec précision de la forme de contour, du profil d'émergence et de la morphologie des restaurations prothétiques).
- Le montage sur articulateur (en cas de DAM diagnostiqués).

En CFAO indirecte, ces étapes parfois génératrices d'imprécisions, ne peuvent être supprimées. Elles devront être conduites selon des règles afin de garder la précision d'enregistrement des limites cervicales, de la morphologie des préparations et de l'axe de celles-ci. La désinfection des silicones quel que soit le produit utilisé ne génère pas de variation dimensionnelle. [27]

La coulée des modèles permet de réduire le risque de variation dimensionnelle et d'imprécision, à condition qu'elle soit menée à l'aide d'une balance (dosage plâtre), d'un vibreur (élimination des

bulles), d'un malaxeur sous vide et qu'elle soit faite dans des délais raisonnables (en fonction de la stabilité dimensionnelle du produit à empreinte). [28].

Dans le but de limiter encore les imprécisions, ces deux premières étapes peuvent être conduites au cabinet réduisant les sources d'erreurs liées au transport (vibration, variation de température, etc...) et le temps de coulée. De plus cela permet au praticien de contrôler le bon enregistrement de la limite cervicale élément clef nécessaire pour le détournage du prothésiste assurant une parfaite adaptation de la future prothèse. [28].

Le détournage et la mise en die sont les étapes qui peuvent engendrer un défaut au niveau de la limite cervicale si celle-ci est peu lisible ou une mobilité des MPU si les pins utilisés n'assurent pas une bonne rétention [29]. De plus le fractionnement du modèle peut léser les faces proximales des dents adjacentes.

Le montage sur articulateur n'altère quant à lui d'aucune façon les limites cervicales où la morphologie des dents à restaurer.

Notons que la CFAO directe avec une prise d'empreinte optique à l'aide d'une caméra intra buccale au fauteuil permet de soustraire ces étapes laboratoires. Cela réduit les risques d'imprécision liés à la variation dimensionnelle des matériaux par leur traitement mais ne peut être mis en œuvre que pour des cas de réhabilitation simple .

4.3.2.2. La Conception Assistée par Ordinateur :

La CAO est conduite à l'aide d'un logiciel selon plusieurs étapes :

- La numérisation.
- Le paramétrage.
- La modélisation.

4.3.2.2 .1.La numérisation :

Dans le cadre de la CFAO indirecte, la numérisation est extra-orale. Une information analogique (les modèles en plâtre) sera convertis en données informatique à l'aide d'un scanner.

4.3.2.2 .1.1. Principe de fonctionnement des scanners :

4.3.2.2 .1.1.1 Méthode d'enregistrement :

Une multitude de scanners sont proposés mais fonctionnent tous selon les procédés

Suivants : Triangulation laser - Lumière structurée – Holographie conoscopique (voir chapitre 1)

4.3.2.2 .1.1.2. Traitement des données :

La numérisation génère un maillage (nuage) de points reliés entre eux par triangulation créant un ensemble de polygones définissant par leur orientation l'intérieur et l'extérieur du modèle.

Ce type de fichier informatique se trouve sous le format STL (stéréolithographie), ils sont convertis par les logiciels de CAO à l'aide d'un noyau graphique de modélisation polygonale pour ainsi former le modèle en trois dimensions (3D) [19].

Ce format est utilisé par tous les systèmes ouverts à la différence des systèmes fermés qui utilisent des formats obligeants l'achat d'un logiciel et d'une machine outils spécifique.

Il existe un autre format basé sur la modélisation par courbes, le NURBS qui offre une plus grande précision. Ce format est utilisé pour les prothèses vissées sur implant exigeant une grande passivité [7]

4.3.2.2.1.2. Les étapes de scannage

4.3.2.2.1.2.1. Saisie des données

A l'ouverture du logiciel il faudra tout d'abord déterminer pour chaque dent le travail demandé :

- Moignon ; Intermédiaire. ; Dent adjacente. ; Antagoniste.

Ainsi que le type de prothèse :

- Chape simple. ; Chape anatomique. ; Couronne pleine ; Pontic réduit.

Il faudra également définir le type de matériau à usiner mais celui-ci est modifiable par la suite pour tous les logiciels. [30]

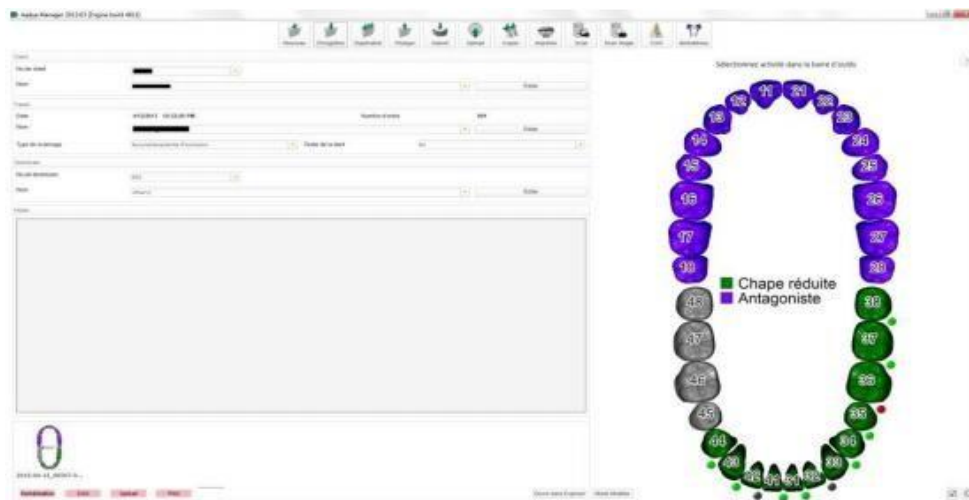


Figure 30. Ouverture projet sur Exocad.

4.3.2.2.1.2.2. Scannage maître modèle/antagoniste

Le modèle est placé dans le scanner maintenu par des vis latérales, le plateau de maintien peut être pour certain scanner amovible, il sera repositionner par de aimants et ergots [Figure 31]. Les premiers scanners effectuaient cette étape en deux temps, un scan de basse définition permettait d'avoir une image grossière puis la zone de scannage en haute définition était définie manuellement. Aujourd'hui les scanners sont équipés de caméras de prévisualisation et permettent d'éviter cette

Étape, la sélection est faite sur l'image fournie en direct par la caméra [Figure 32]. Le modèle en 3D est ainsi créé et visible à l'écran. Une vérification sera conduite afin de déceler des zones manquantes en faisant tourner le modèle dans tous les axes, si des zones sont mal définies le scan pourra être réorienté vers celles-ci. Les mêmes étapes seront conduites pour le modèle Antagoniste. [30]

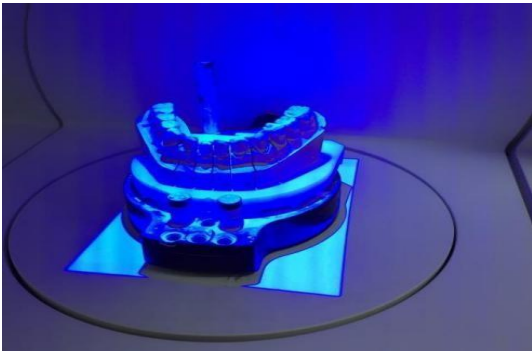


Figure. 31 Modèle antagoniste dans un scanner GC Aadva Lab (lumière structurée).



Figure 32 Etape de scannage avec caméra de Prévisualisation sur Exocad.

4.3.2.2.1.2.3. Scannage de l'occlusion simple :

La technique de numérisation sera différente dans les cas de restauration avec ou sans DAM puisqu'en clinique l'enregistrement des RIM n'a pas été pratiqué selon la même technique. Dans les cas de restauration unitaire ou de faible étendue les modèles sont placés en OIM dans le scanner et maintenues par des élastiques. Une séquence de scannage supplémentaire est faite afin de permettre au logiciel de placer les modèles numériques dans la position enregistrée. Le maître modèle et un mordru occlusal pourront uniquement être numérisés, l'image de l'antagoniste sera donc beaucoup moins précise, cette technique convient pour la création de provisoire. La numérisation de mordru pratiqué selon la technique FGP (Functionally Generated Path (OIM)) peut cependant renseigner sur la possible présence d'interférence.

Il est conseillé de prendre le temps de passer par les trois scans (maître modèle, antagoniste, en occlusion) afin que le maximum d'information soit numérisé augmentant la précision. [30]

4.3.2.2.1.2.4. Scannage de l'occlusion montée sur articulateur :

Dans le cas de restauration de grande étendue ou de DAM diagnostiqués, les RIM ont été enregistrées en clinique à l'aide d'un arc facial. Les deux modèles sont donc montés sur articulateur mais la gestion de l'occlusion pourra se faire sur le logiciel à l'aide d'articulateur virtuel. La numérisation du montage demande des étapes spécifiques décrites dans le paragraphe suivant. [30]

4.3.2.2.1.3. Les articulateurs virtuels :

La première tentative de mise en place des articulateurs virtuels fût menée par F. Duret en 1983 avec « L'access articulator » [31]. Depuis tous les logiciels proposent cette fonction et les travaux de C. Gaertner et al [32] ont prouvé leur efficacité.

4.3.2.2.1.3.1 Scannage du montage :

Les scanners donnent la possibilité de numériser les modèles soit avec un articulateur fournis par le Fabricant ou certains logiciels permettent de définir le type d'articulateur dont les caractéristiques (forme des bâtis, distance inter condylienne, etc.) sont dans la banque de données [33]. Avant d'effectuer la numérisation il faudra accorder l'articulateur virtuel et l'articulateur physique à l'aide d'un étalonneur [Figure 33]. Cette étape est à réaliser uniquement lors de la première utilisation de l'articulateur physique avec le scanner. Les modèles seront ensuite scannés séparément sur leur plaque de montage. Le logiciel pourra les replacer selon la relation enregistrée.



Figure 33 Etalonnage articulateur physique.



Figure 34 Scan du montage.

4.3.2.2.1.3.2. Fonctionnalités

Il faudra tout d'abord rentrer manuellement les valeurs de la Pente Condylieenne et de l'Angle de Bennett [33]

Ils offrent ensuite toutes les fonctionnalités qu'un articulateur physique permet c'est-à-dire la reproduction de tous les mouvements mandibulaire par les déterminants postérieurs et antérieurs. [34] Ils permettent également de marquer les points d'occlusion comme sur l'articulateur physique à l'aide du papier d'occlusion [35]. La présence d'interférences ou de prématurités sont également notifiées.

Cette fonction ne change pas les habitudes et les repères de l'occlusodontie mais permet une réalité augmentée [33]. En effet la transparence des moulages qui permet de mieux lire les contacts antagonistes ainsi que le grossissement et la quantification des contacts occlusaux facilite la gestion et la réhabilitation de l'occlusion de nos patients.

Les articulateurs virtuels ne sont pas simplement une aide, ils viennent compléter la chaîne numérique et permettent réellement le diagnostic des troubles occlusaux. [36]

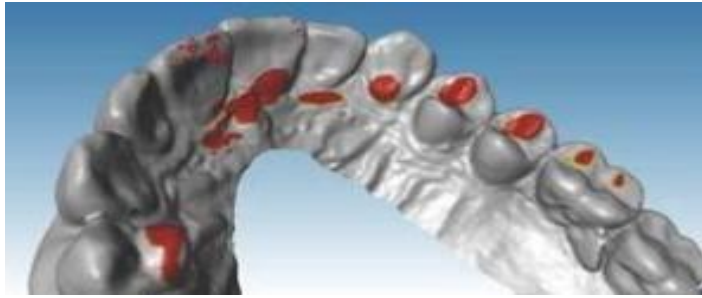


Figure 35 : Visualisation des points d'occlusion, DentalWings.

4.3.2.2.2 Paramétrage :

Durant cette étape le prothésiste définira la limite cervicale et l'axe d'insertion.

4.3.2.2.2.1. Limite cervicale :

Tous les logiciels proposent un tracé en mode automatique qui permet peu de retouches dans les cas où la préparation et le détourage sont corrects. Cependant une vérification est obligatoire, tous les logiciels permettent de visualiser la dent dans tous les plans.

Certains offrent également la possibilité de visualiser la position de la limite de profil Améliorant la lecture [Figure 36]. D'autres permettent également une définition de la limite selon un traçage effectué au crayon gris sur le modèle en plâtre avant le scannage. La limite est retouchée à l'aide de la souris si elle est mal lue par le logiciel. [30]

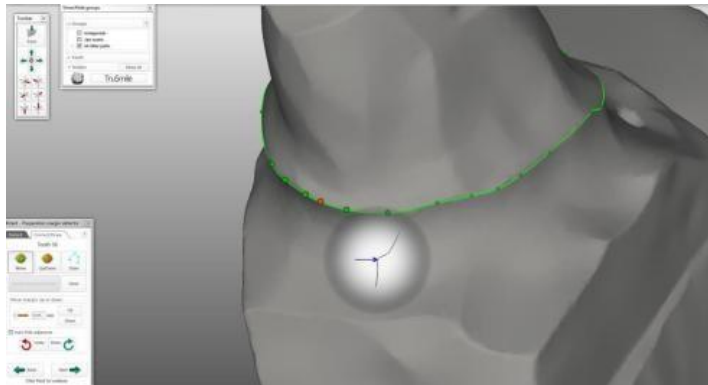


Figure 36 : Définition de la limite cervicale sur Exocad

4.3.2.2.2.2. Axe d'insertion

Le logiciel va proposer automatiquement plusieurs axes d'insertions. C'est au prothésiste d'en choisir un, il peut bien sûr le modifier à sa guise ou le choisir manuellement. L'axe est choisi en fonction des contres dépouilles potentielles. Les hiatus engendrés seront signalés sur le modèle numérique pour chaque axe proposé. [30]

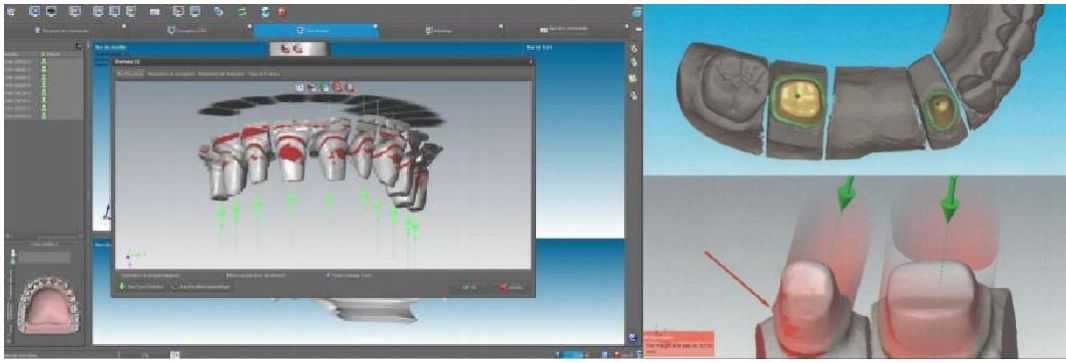


Figure 37 : Choix axe d'insertion, visualisation contre dépouilles (rouge) sur DentalWings.

4.3.2.2.3. Comblement des contre-dépouilles :

Elle peut se faire automatiquement lors de la dernière étape ou manuellement après le choix de l'axe d'insertion. Il faut noter que certains prothésistes le font directement sur le modèle physique. [30]

4.3.2.2.4. Réglage de l'espace dédié au ciment :

Là aussi les possibilités divergent, certains logiciels ne donnent pas la possibilité de définir l'épaisseur. D'autres permettent de la définir sur toute la surface de collage et enfin certains de la définir au niveau de l'espace de serrage, au niveau des parois, et au niveau occlusal indépendamment. Chaque fabricant indique l'épaisseur de colle ou de ciment spécifique à son matériau. [30]

4.3.2.2.5. Réglage de l'épaisseur de la chape :

Lorsque la prothèse confectionnée n'est pas monolithique, on peut régler l'épaisseur de la chape qu'elle soit en zircone ou métallique. Chaque matériau a besoin d'une épaisseur minimale pour assurer les propriétés mécaniques nécessaires à la pérennité de la prothèse. On peut la faire varier au niveau de l'espace extra vertical, extra horizontal, du collet et au niveau marginal. [30]

4.3.2.2.6. Réglage du bandeau :

Le logiciel peut confectionner automatiquement un bandeau palatin ou lingual si on le veut. Il est ajustable manuellement si le prothésiste veut en changer la hauteur ou l'étendu par exemple. [30]

4.3.2.2.7. Réglage du profil d'émergence :

On peut ainsi régler l'angle d'émergence, le faire varier en fonction du matériau ou des contraintes exercées.

4.3.2.2.8. Réglage de la hauteur de serrage :

On gère, dans le cas d'une chape métallique, l'endroit où le serrage s'effectuera sur la dent. [30]

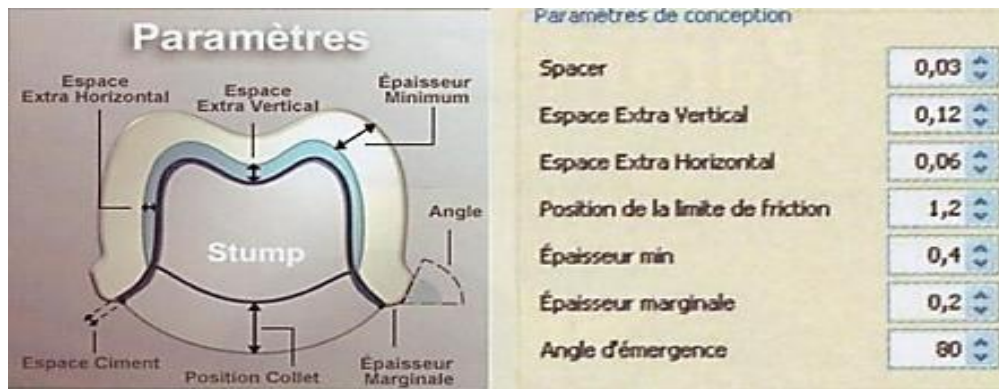


Figure 38 : Déterminations des paramètres lors de la conception d'une chape

4.3.2.2.3 Modélisation :

Durant cette étape les caractéristiques morphologiques du projet prothétique seront définies.

4.3.2.2.3.1. Proposition automatique (wax-up virtuel)

Une fois tous ses paramètres ajustés, le logiciel propose un modèle de chape. Les modèles sont générés selon différents concepts :

- Une chape homothétique standard : Le modèle proposé est un standard calculé à partir de critères propres au logiciel et sera la même pour chaque numéro de dent. Il ne tient pas compte de l'environnement, ni de la future construction prothétique.
- Une chape homothétique calculée en fonction de la préparation de la dent : C'est le même principe que le précédent sauf qu'ici, est prise en compte, la préparation de la dent. En fonction de l'ensemble des critères de confection, le logiciel modélise la chape qui aura toutefois toujours la même forme externe pour chaque numéro de dent.
- Une chape standard adaptée selon l'environnement : Une forme standard commune à chaque numéro de dent va être automatiquement modifiée selon les dents voisines, l'occlusion et les critères de confection préalablement validés.
- Une chape parmi une famille de forme et adaptée selon son environnement : La forme va être choisie parmi une famille de wax up virtuel ayant chacun des caractéristiques correspondantes à des standards types : dents jeunes ou âgées, d'une origine ethnique particulière, etc... La chape est donc créée en fonction de la future couronne prothétique qu'elle va recevoir. Cette préforme est ensuite modifiée selon l'environnement comme dans le modèle précédent.
- Une chape parmi une bibliothèque de forme et adaptée selon son environnement : Même principe que précédemment mais ici les formes proposées beaucoup plus nombreuses et classées dans une bibliothèque de données.
- Une chape générée en fonction d'une forme de dent personnelle et de l'environnement : La chape est créée par le logiciel à partir d'une bibliothèque de formes de dents personnelles,

Préalablement créées, scannées et enregistrées. Elle est ensuite modifiée pour être adaptée à son environnement.

- Une chape générée par morphing Après la sélection d'une famille de dent, le logiciel va rechercher en fonction des critères anatomiques des dents voisines et de l'antagoniste les détails les plus ressemblants et les mieux adaptées dans une bibliothèque de morphologies spécifiques à chaque numéro de dents. Chaque morphologie est divisée en 40 détails qui seront combinés pour créer un wax up de dent. La chape est générée en calculant son homothétie par réduction du wax up créé. Notons que le wax up de la prothèse fixée pourra être conservé et fabriqué par la suite. [30]



Figure 39 : Proposition d'une wax up numérique

4.3.2.3.2 Création d'un wax up numérique de la couronne :

Le principe va être le même que pour la création de la chape. Un ensemble d'aide du logiciel va être proposé pour la modélisation ainsi que l'ajustage de la forme au cas. Une option supplémentaire dans la création automatique de forme va être proposée : l'effet miroir. Comme son nom l'indique, la forme donnée va être l'inverse de la dent controlatérale. [30]

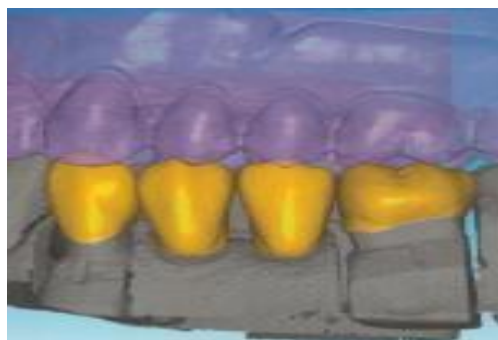


Figure 40 : Proposition d'un wax up de couronnes

4.3.2.2.3.3. Modification des caractères

Dans 80% des cas la solution proposée est valide mais la morphologie pourra toujours être modifiée. Soit en allant chercher dans la banque de données une autre forme de dent qui sera ajusté automatiquement soit en se servant de divers outils du logiciel. [30]

4.3.2.2.3.3.1. Poignées d'ajustage/morphing :

Ces outils permettent de modifier la morphologie de la dent point par point et par étirement.

Les poignées ne permettent de bouger que dans un sens unique alors que le morphing cible un point précis de la dent qui peut être étiré à 360°. [30]

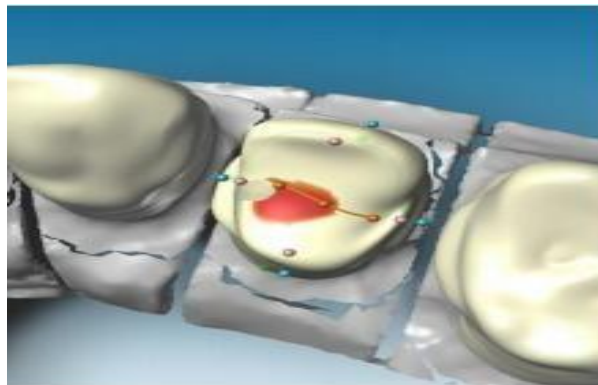
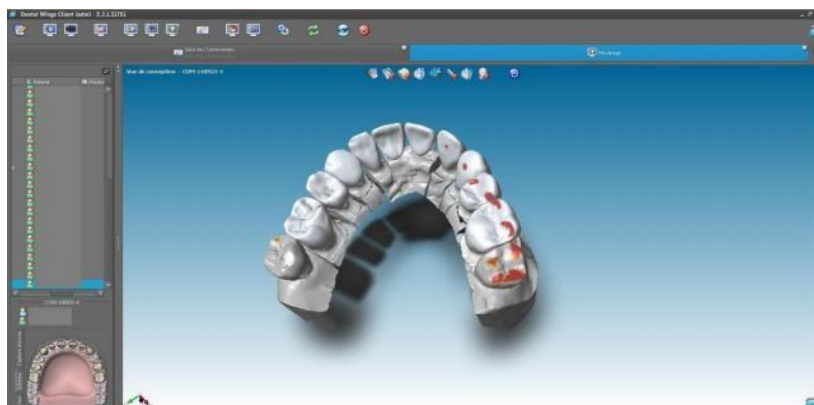


Figure 41 : Visualisation poignées d'ajustage sur DentalWings

4.3.2.2.3.3.2. Point de contact/table occlusale

La situation et la force des points de contact pourront être modifiées, elles devront toujours se trouver sur la ligne de plus grand contour coronaire des dents adjacentes. Enfin la morphologie de la table occlusale est également modifiable. La situation présentée automatiquement tient compte de la morphologie occlusale de l'antagoniste, la force et la position des contacts occlusaux sont matérialisées par des zones colorées [Figure 42]. Les modifications sont faites par lissage qui diminue progressivement le relief ou par création de zones d'abrasions. [30]



[Figure 42] Gestion des contacts occlusaux (rouge) sur DentalWings

4.3.2.2.3.4 Réduction homothétique/connecteurs :

Pour la réalisation d'armature une réduction homothétique du wax-up virtuel finalisé sera effectuée. Les informations sur les épaisseurs minimales de résistance des différents matériaux sont connues des logiciels. La réduction est donc faite en mode automatique mais des modifications sont encore possibles afin d'éviter des zones de céramique non soutenue. Le logiciel informe à tout moment si la quantité de matériau est suffisante [Figure 43]. Il faudra ensuite relier par des connecteurs les éléments de l'armature. Cette étape peut encore une fois être automatique et modifiable ou manuelle. Rappelons que les épaisseurs de connexions minimum sont 6 mm² pour le métal non précieux ; 9 mm² pour la zircone ; 12 mm² pour le di silicate de lithium (e-Max®). [30]

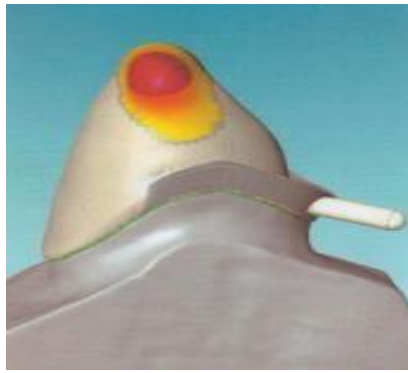


Figure 43 : Modification du wax up de la chape

4.3.2.2.3.5. Finalisation :

L'élaboration du projet prothétique pourra être finalisée et validée après une dernière vérification de l'ajustage des limites, des épaisseurs de matériaux et des fonctions occlusales. Le prothésiste pourra donc lancer la fabrication qui sera conduite différemment en fonction des cas et des matériaux choisis. [30]

4.3.2.3. Fabrication de la pièce prothétique :

La difficulté de fabrication est fonction du matériau choisit par le praticien, de la complexité de la forme de la pièce prothétique ainsi que du niveau d'exigence qualitatif.

4.3.2.3.1 Les techniques de fabrication :

Une fois la conception fini, il faut passer à la dernière étape de la chaine de production numérique : la fabrication assistée par ordinateur. Pour cela, de nombreuses possibilités sont proposées et se divisent en deux grandes catégories :

- La confection par soustraction : il s'agit d'usineuses qui taillent dans un bloc de matériaux choisis la pièce prothétique.
- La confection par addition : il s'agit d'un ensemble de machines utilisant différents procédés pour créer la pièce prothétique couche par couche. [30]

4.3.2.3 .1.1 - Confection par soustraction : la machine outils :

4.3.2.3 .1.1.1. Le traitement des informations :

Le wax up numérique étant fini, il est transmis à l'unité de fabrication. Tout comme lors de la conception, des étapes de préparation sont nécessaires pour la fabrication. Un ensemble de paramètres doivent être renseignés. [37]

4.3.2.3 .1.1.1.1. Définition du projet :

Dans un premier temps, il est nécessaire de définir le projet prothétique à usiner. On fixe certaines caractéristiques : date, opérateur, type de machine pour les systèmes ouverts, type de prothèse... [38]

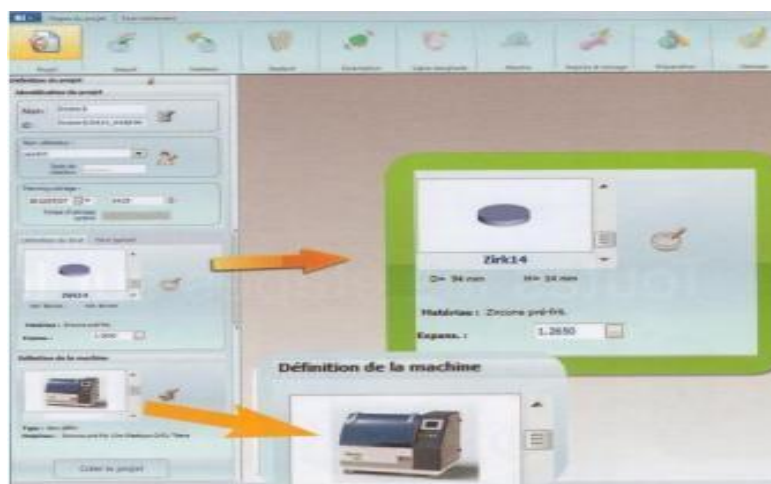


Figure 44 : Définition du projet

4.3.2.3 .1.1.1.2. Choix du type de brut :

Il convient de choisir ensuite la forme du brut : bloc, galette, barre. Pour les logiciels ouverts, il est possible de définir les dimensions exactes du brut et d'indiquer si le brut est neuf ou déjà entamer. Certains systèmes gardent en mémoire, la forme des disques entamés lors de précédents usinages. [39]

4.3.2.3 .1.1.1.3. Choix du matériau :

On rentre, ensuite le choix précis du matériau par exemple zircone, titane etc... Pour la zircone, il faut entrer son coefficient de rétraction noté sur le brut. [40]

4.3.2.3 .1.1.1.4.Importation des travaux :

L'importation des fichiers créés par le logiciel de CAO, se fait seulement à ce stade. Le logiciel va indiquer, dans la liste des projets en attente de fabrication, ceux qui sont compatibles avec la hauteur du brut enregistré. Il faut noter que les limites du travail peuvent être, selon les systèmes de CAO, intégrées directement au fichier du modèle numérique ou être un fichier distinct. Dans ce dernier cas, il faut lui aussi l'importer dans le logiciel de FAO. Il est possible de redéfinir les limites dans le logiciel de FAO manuellement ou automatiquement. [41]

4.3.2.3 .1.1.1.5. Placement et agencement dans le brut :



Figure 45 : Nesting

Cette étape commence par le placement aussi appelée nesting. Elle peut différer selon la forme du brut.

- Pour un lingotin, le nesting peut être automatique ou manuel. Il convient de placer la couronne au centre du volume pour être sûr qu'il n'y ait aucun manque. Dans le cas, de matériau contenant un dégradé de couleur, on fera varier la hauteur pour optimiser la répartition des teintes.
- Pour un disque, le nesting peut se faire manuellement en plaçant les formes une à une sur le volume du brut, ou peut être réalisé automatiquement par le logiciel. Chaque position est modifiable, le but est bien sûr de placer le plus de préparations dans la galette tout en respectant les limites de proximités. Toutes proximités néfastes seront détectées par le logiciel. Cela permet d'avoir le minimum de gaspillage. [42]

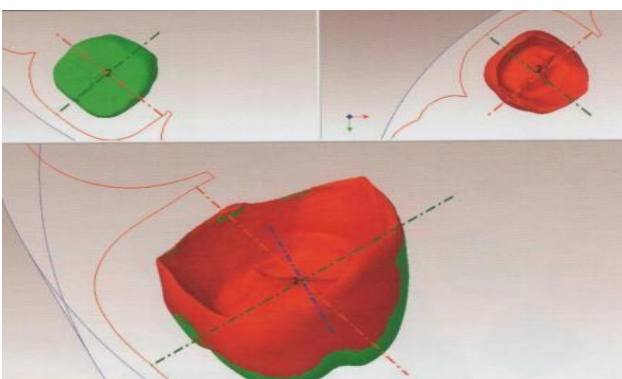


Figure 46 : Visualisation des contre-dépouilles en fonction du nesting

Une fois placé, il faut vérifier qu'il n'y ait pas de création de contre dépouilles dans l'intrados de la future prothèse. Le logiciel les fait apparaître, il est alors possible de ré-agencer la forme pour éliminer le problème ou d'ajouter un ou plusieurs axes de fraisage mais le temps de fabrication sera plus long. De même il faut vérifier que toutes les pièces notamment les prothèses de longues portées rentrent entièrement dans le brut sinon il faudra changer leur axe. Lorsque les éléments sont trop proches, les limites d'usinage se chevauchent ou se croisent cela crée des îlots de matière non rattachés au reste de la galette. Ces îlots rigidifient l'ensemble de la structure et permettent de réduire les imprécisions d'usinage. Il faut donc en conserver sans toutefois trop gaspiller du brut. Le logiciel va automatiquement les maintenir ou les supprimer selon le type de matériau, plus celui-ci est rigide moins il y a besoin d'îlots. [42]

4.3.2.3 .1.1.1.6. Gamme d'usinage (précision et finesse d'usinage) :

Pour chaque préparation, il est possible de définir le nombre d'axes que l'on veut utiliser pour sa fabrication. On fixe aussi la finesse de l'usinage c'est-à-dire le calibre et le nombre de fraises qui seront employées pour une ou plusieurs pièces spécifiques voire pour une zone précise au sein d'une pièce. En conclusion, il pourra être utilisé pour un même disque de brut 3, 4 ou 5 axes et une finition standard, moyenne ou fine. Le temps d'usinage va en être impacté, plus la finition et le nombre d'axes augmentent plus le temps de fabrication sera long. [43]

4.3.2.3 .1.1.1.7. Gestion des supports de fixation :

Chaque pièce prothétique va être maintenue au brut, après l'usinage par des tiges de fixation. Ces tiges doivent être placées en fonction de la fragilité et de la morphologie de la future pièce prothétique. Après l'usinage, elles seront éliminées engendrant une certaine imprécision. Il est important de ne pas les mettre dans des zones clés comme la face occlusale ou au niveau des points de contacts. Le placement peut se faire manuellement ou automatiquement selon des critères prédéfinis. Le tout est, comme toujours, entièrement modifiable et paramétrable (hauteur de positionnement, diamètre...etc...)[44]

4.3.2.3 .1.1.1.8 .Gestion des supports de sintérisation :

Lorsqu'il y a besoin d'une sintérisation, il est possible de placer directement les supports qui éviteront les contacts entre les plaques du four et le matériau. [45]

4.3.2.3 .1.1.1.9. Prédécoupe des supports de fixation :

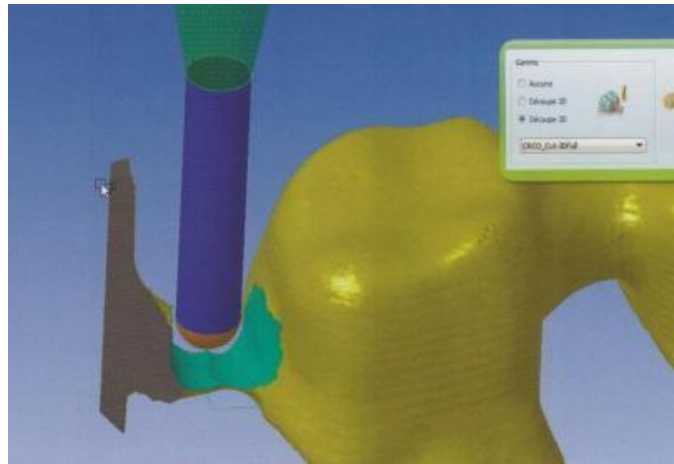


Figure 47 : Visualisation de la prédécoupe des tiges de fixation

Certains logiciels permettent, une fois la fabrication terminée, de prédécouper les tiges de fixation devenues inutiles. La prédécoupe peut se faire de manière axiale ou suivant l'anatomie 3D de la prothèse. D'autres systèmes proposent, même, l'éviction totale de la tige en respectant la morphologie prothétique. [46]

4.3.2.3 .1.1.1.10. Création et prévisualisation du parcours d'usinage :

Une fois toutes ces étapes achevées, le logiciel va calculer le parcours que devront effectuer les fraises lors de l'usinage, parfois il est pré visualisable. Cette étape chronophage peut indisposer l'ordinateur pour d'autres tâches pendant quelques minutes. A l'heure actuelle, certains constructeurs donnent la possibilité d'effectuer d'autres opérations sur l'ordinateur, en laissant le calcul se faire en tâche de fond.

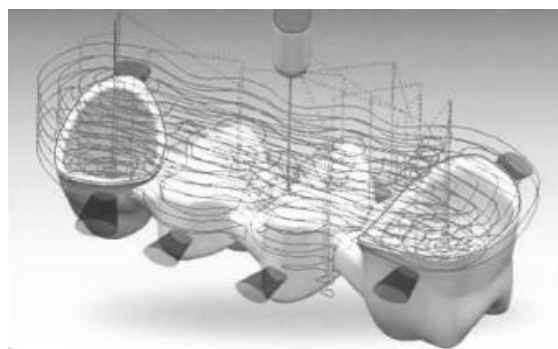


Figure 48 : prévisualisation du parcours d'usinage

Le traitement informatique fini, le logiciel va créer une fiche récapitulative pour le suivi de production. Certaines des informations telles que le nesting pourront être réutilisées pour des tâches semblables ultérieurement. [46]

4.3.2.3 .1.1.2. Les différentes technologies :

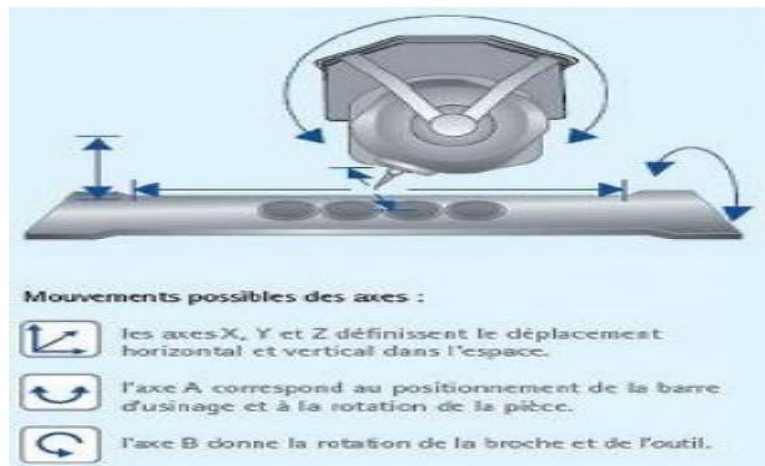


Figure 49 : Schématisation de différents axes de fraisage

4.3.2.3.1.1.2.1. Nombre d'axes de fraisage :

Le nombre d'axes est le nombre de direction dans laquelle la machine peut déplacer ses fraises et le brut. Il est en corrélation directe avec la capacité qu'a la machine à usiner des formes plus ou moins complexe.

- 3 axes : Les trois premiers axes correspondent aux trois axes x, y, et z. la machine peut donc faire bouger les fraises de haut en bas, de droite à gauche et en profondeur. Ces axes primaires permettront d'usiner toute les pièces n'ayant pas de contre dépouille. Pour un usinage complet il faudra retourner la pièce manuellement et relancer la procédure.
- 3 + ½ axes ou 3 + 1 axes : La machine peut effectuer les mêmes mouvements que la 3 axes mais en plus elle peut faire une rotation de 180 degrés à la pièce prothétique. On peut donc faire un usinage entier sans arrêter la machine. Attention ce ne sont pas des machines 4 axes.
- 4 axes : En plus des 3 axes vus précédemment, la machine peut faire basculer la pièce de gauche à droite par un mouvement de roulis. Cet axes est appelé axe A. Ainsi l'ensemble des contre dépouilles sur les plans latéraux peuvent être usinées. On distingue 2 types de machines 4 axes. Les machines 4 axes positionnés qui ne peuvent gérer que 3 axes simultanément. Le 4eme axe va faire basculer la pièce dans une position voulue se fixer et seulement à ce stade l'usinage 3 axes s'enclenchera. Si des zones sont inaccessibles l'usinage stoppera on fera pivoter la pièce dans une nouvelle position ou ces zones seront usinables. Les machines 4 axes simultanés qui géreront tous les axes en même temps.
- 5 axes : Le cinquième axe est la bascule d'avant en arrière de la pièce, permet d'usiner les contre-dépouilles sur les plans antéro postérieurs. Cet axe est nommé axe B. Là aussi, on distingue deux types de machines :

- La machine 5 axes positionnés ou 3+2 axes : Au même titre que les 4 axes positionnés, les deux axes de rotation ne sont pas gérés simultanément aux autres. La pièce sera fixée au préalable dans une position donnée puis usiné avec 3 axes.
- La machine 5 axes simultanés : tous les axes sont gérés en même temps. [37- 47]

4.3.2.3 .1.1.2.2. Nombres et changement d'outils :

Il n'est pas nécessaire d'avoir plusieurs têtes d'usinage sauf pour un usinage simultané. En effet, les travaux demandent différents outils pour leur fabrication. Ils seront plus ou moins gros, de formes particulières, et de granulométrie changeante selon les contours, les matériaux à travailler. Pour cela, la machine va devoir changer d'outils soit automatiquement soit par intervention humaine. [38]

4.3.2.3 .1.1.2.3. Forme et type de brut à usiner :

Les formes des bruts à usiner peuvent être de formats standardisés ou propriétaire. Les formes les plus répandues sont les lingotins, les blocs, les barres ainsi que les galettes. Dans leur forme standardisée les disques font de 98.2 ou 98,5 mm de diamètre et de 25 ou 26 mm d'épaisseur. Il existe deux grands types de brut : dur ou tendre. Les matériaux tendres tels que la cire ou les céramiques préfrittées sont usinables par n'importe quelle machine. Au contraire, les bruts durs engendrent des contraintes mécaniques et thermiques bien particulières. Ils nécessitent une très grande vitesse de rotation ou un couple important, des outils et des technologies d'usinages spécifiques pour préserver au mieux la machine et ses éléments. [39- 40]

4.3.2.3 .1.1.2.4. Nombre de pièces usinables par brut et par cycle d'usinage :

Celles-ci vont entièrement dépendre de la forme de brut utilisé et du nombre d'axes, de la possibilité de changer automatiquement d'outil et de brut, ainsi que de la possibilité d'enchaîner plusieurs galettes sans nettoyage de la machine. Pour une galette standard, il est possible de faire une trentaine d'éléments unitaires. [49]

4.3.2.3 .1.1.2.5. Nombre d'éléments usinables par jour et par type de matériaux :

Le nombre d'éléments usinables par jour dépend du temps d'usinage, de la conception du parcours des outils, de l'automatisation de changement d'outil et de brut ainsi que de la capacité de la machine d'enchaîner les cycles sans entretiens (nettoyage, graissage...). Le temps d'usinage est très variable en fonction des degrés, de finition demandés, du nombre d'axes de la machine, de la dureté du brut et de l'usure des outils. A cause de l'ensemble de ces facteurs, il est difficile de dégager un chiffre précis. Le nombre annoncé par le constructeur est à pondérer avec l'utilisation que l'on veut faire de la machine : sa préservation ou son exploitation au maximum. [42-51]

4.3.2.3 .1.1.2.6. Relation poids/rigidité/vitesse de rotation :

La précision de l'usinage va dépendre de ces trois facteurs. En effet, c'est l'exactitude de la position de l'outil de travail qui détermine la qualité du travail produit. Ce que l'on veut éviter à tout prix ce sont les vibrations qui créent des approximations de placement et par conséquent des imprécisions. [43-44]

4.3.2.3 .1.1.2.7. Gestion des incidents :

Lors de l'usinage, les outils s'usent ou peuvent se casser. Dans le premier cas, si la machine peut le détecter, elle va ajuster le parcours au degré d'usure de la pièce. Le temps de fabrication sera plus long mais d'aussi bonne qualité, sinon la qualité de fabrication sera moindre. Certaines machines en plus de détecter l'usure vont changer automatiquement l'outil d'autres devront faire appel à la main humaine. Lorsque l'outil est cassé, comme dans l'usure, la machine peut ou non le détecter au changement d'outil. S'il n'y a aucune détection de casse, le travail sera inachevé et à reprendre dès le début de l'usinage. Dans le cas où l'incident est détecté, certaines machines permettent de reprendre l'usinage où il s'était interrompu. D'autres vont même remplacer automatiquement l'outil avant de reprendre le processus. Cette option est appelée gestion de l'outil frère. [50-51]

4.3.2.3 .1.1.2.8. Usinage à sec, aspiration et air pulsé :

Les machines qui usinent à sec vont produire des poussières et des copeaux de déchets pouvant encrasser les mécanismes et provoquer des incidents. Pour cela le système d'aspiration et son emplacement est primordial. Plus il est puissant et se situe proche de la tête d'outil plus il est performant moins l'enceinte d'usinage sera sale rapidement. Une aspiration défaillante oblige à un nettoyage plus régulier. La production de déchets volatiles peut aussi avoir un impact sur la précision et l'efficacité d'usinage. Pour cela un système d'air pulsé sur la tête de l'outil permet qu'elle soit toujours propre ainsi que le point d'usinage. [45]

4.3.2.3 .1.1.2.9. Usinage sous jet et lubrification :

Certains systèmes ont fait le choix d'un usinage sous jet, en particulier pour le travail sur des matériaux durs. Il existe plusieurs types de jets lubrifiants qui vont correspondre à l'usinage de matériaux particulier :

- Huile pure : nécessaire pour les matériaux les plus durs et obligatoire pour le Chrome cobalt. Incompatible avec le titane dont l'usinage provoque des étincelles.
- Air et huile
- Huile et eau : Nécessaire pour le travail du titane. [46]

4.3.2.3 .1.1.2.10. Nettoyage :

Comme dit précédemment, l'usinage crée des déchets ainsi que des poussières néfastes à la qualité du travail produit et à la machine. En effet, ces poussières sont extrêmement abrasives et abiment les mécanismes de la machine. Il faut donc un nettoyage très régulier après deux voire à chaque disque, pour prolonger la vie du système. [52]

4.3.2.3 .1.2- Confection par addition :

Les procédés de création par addition sont définis comme « le processus d'assemblage de matériaux pour fabriquer des objets à partir des données du modèle 3D, le plus souvent couche après couche, par opposition aux méthodes de fabrications soustractives. » par la norme ASTM. Ces procédés peuvent être utilisés pour la fabrication directe ou dans le cadre du prototypage rapide pour la fabrication d'un pré-produit [30]

4.3.2.3 .1.2. 1. Le prototypage rapide :

Le prototypage rapide est défini comme les différentes façons de fabriquer, dans un délai court et sans outils, des objets 3D, couche par couche, en utilisant un modèle créé par CAO. Pour cela le modèle numérique est découpé en strate 2D. On caractérise, ainsi, un paramètre très important : le pas de découpage. Ce pas détermine l'épaisseur de chacune de couche 2D qui apposées les unes aux autres reconstitueront le volume 3D de l'objet. Plus le pas de découpage est petit, plus l'objet aura un contour net et non en escalier, mais plus la production sera longue et coûteuse. Pour être pris en charge et fabriqué, le modèle 3D doit se trouver au format STL. L'ensemble des procédés permettant de mettre en œuvre le prototypage rapide sont : la stéréolithographie, l'impression 3D et le frittage laser. Quel que soit la technique employée un post traitement de finition sera nécessaire (par exemple la suppression des supports le polissage..). C'est dans cette opération manuelle chronophage que réside la grande faiblesse de cette méthode. [4]

4.3.2.3 .1.2. 2 La stéréolithographie :**4.3.2.3 .1.2 2.1. Définition :**

Comme tous les procédés additifs, la stéréolithographie a pour but de construire couche par couche un volume 3D complexe, issue d'une conception assistée par ordinateur préalablement découpée en strate 2D. Pour cela, on fait appel à une base liquide, très souvent une résine, capable de se polymériser sous l'effet de la lumière et de la chaleur. C'est la superposition de chacune des couches polymérisées qui constituent l'objet final. [4]

4.3.2.3 .1.2 2.2. Les différents principes :

Il existe deux principes de stéréolithographie : la stéréolithographie SLA et par UV sélectif.

4.3.2.3 .1.2 2.2. 1- La stéréolithographie SLA :

Dans ce procédé, la réaction de polymérisation est réalisée par la déflexion d'un laser à la surface d'une résine liquide photosensible. Chaque couche est fabriquée point par point. Une fois achevée, la plateforme de construction la supportant, descend d'une distance égale à l'épaisseur d'une strate, correspondant au pas de découpe (de 50 à 150 μ m). Pour être sûr que l'épaisseur d'une section transversale est bien constante, une lame balaye la couche qui vient d'être créée et apporte par la même occasion une nouvelle couche de résine liquide. La strate suivante est alors polymérisée par-dessus la première et le processus se répète jusqu'à la fabrication complète de l'objet. La conception d'un objet nécessite la création automatique et l'utilisation de support reliant l'objet à la plateforme pour qu'aucune imprécision ne soit créée par le passage de la lame et par la pesanteur. Ils seront ensuite éliminés manuellement à la fin de la conception. [4]

4.3.2.3 .1.2 2.2. 2- La stéréolithographie par UV sélectif :

Dans ce procédé, le logiciel de la machine va créer une image de chaque couche. Grâce à la technologie DLP (Direct Light Projection). Cette image est projetée à la surface du bain de résine photosensible. On observe alors une photo polymérisation de la résine maintenue par le même type de plate-forme amovible que dans la technique précédemment décrite. Une fois la strate solidifiée, le plateau descend d'une épaisseur équivalente à celle de la future tranche (entre 25 μ m et 150 μ m) et ainsi de suite jusqu'à la formation de tout l'objet. Des structures de support en forme de tiges sont créées en parallèle pour ne pas que les objets s'effondrent. Elles seront éliminées manuellement à la fin du processus de création. La technologie DLP qui permet la projection de l'image est rendu possible par une matrice composée de million de miroir qui comme des pixels vont réfléchir la lumière vers la cuve ou la bloquer selon leur orientation. [4]

4.3.2.3 .1.2 2.3. Les matériaux :

Un mélange de résine et de cire permet la réalisation de maquettes calcinables. Une résine biocompatible est utilisée pour la confection de prothèse temporaire, de guides chirurgicaux implantaires, ou des gouttières. [4]

4.3.2.3 .1.2 2.4.Indications :

Comme vue précédemment, la stéréolithographie permet la réalisation de prothèses provisoires, de guides chirurgicaux et radiologiques en implantologie mais surtout celle de maquettes calcinables. Ils seront utilisés pour la confection de couronnes métalliques et d'armatures de couronnes et de bridges,

Ainsi que la fabrication de châssis de stellite. Et enfin elle permet de créer des modèles d'étude issue d'empreinte optique. [4]

4.3.2.3 .1.2 2.5. Avantages/ inconvénients :

De toutes les machines de fabrication pas addition, les machines de stéréolithographie sont les plus simples d'utilisation et sont les plus flexibles aux changements de matériaux réalisé par un simple changement de bac. De plus, utilisant un mécanisme très simple, elles sont extrêmement fiables, peu onéreuses dans leur achat et dans les matériaux. Leur rendement est correct et assure en moyenne la réalisation de 70 éléments simultanés par cycle de 2h30. Elle permet de consommer beaucoup moins de matériaux et de gagner du temps. Leur gros inconvénient est le fait qu'elles ne réalisent aucun produit fini définitif. Bien qu'elles permettent réalisation de prothèse provisoire ou la validation d'un projet prothétique par le prothésiste, chaque création devra pour être définitif subir une coulée. De plus l'élimination des supports de fabrication est manuelle, c'est une étape fastidieuse et source d'imprécisions. [4]

4.3.2.3 .1.2.3. L'impression 3D :

4.3.2.3 .1.2.3.1. Définition :

Comme tous les procédés additifs, l'impression a pour but de construire couche par couche un volume 3D complexe, issue d'une conception assistée par ordinateur préalablement découpé en strate 2D. Pour cela, on fait appel à des buses d'impression qui, comme pour une imprimante classique, vont par dépôt sélectif d'encre spécifiques, créer couche par couche l'objet voulu. De même que pour la stéréolithographie, à chaque couche créée, une plate-forme s'abaisse d'une hauteur équivalente au pas de coupe mais contrairement à celle-ci certains systèmes n'ont pas besoin de support reliant l'objet au plateau. Si ce n'est pas le cas ces supports seront produits dans un matériel soluble, facilitant leur suppression par bain ou projection de solvant, évitant l'étape d'élimination manuelle. [4]

4.3.2.3 .1.2.3.2. Les différents principes :

Il existe trois principes d'impression 3D : l'impression par injection de cire, l'impression par injection de résine combinée à une polymérisation UV et l'impression par injection de liant dans un lit de poudre. [4]

- **Impression par injection de cire :** Dans ce procédé, les couches sont imprimées par injection simultanée d'une cire formant le modèle et d'une cire servant de support de construction. Chaque strate fait entre 13 et 76µm. L'état de surface et la précision sont assurés par le passage d'une fraise après genèse de chaque couche. La plate-forme s'abaisse ensuite et le processus recommence. A la fin de la fabrication, la cire support est éliminée par bain, à haute température, de solvant.

- **Impression par injection de résine combinée à une polymérisation UV :** Dans ce procédé, les couches sont imprimées par injection simultanée d'une résine formant le modèle et d'une résine ou une cire, servant de support de construction. A chaque strate déposée, la résine est solidifiée par photo polymérisation UV. Leur épaisseur varie de 16 à 32 μm . A la fin de la fabrication, la résine support est éliminée par bain à haute température ou jet, de solvant. Dans le cas de la cire support, l'élimination se fait par chauffage. L'objet est, ensuite, nettoyé puis subit un traitement thermique pour finaliser la polymérisation. [4].

- **Impression par injection de liant dans un lit de poudre :** Ce procédé est très différent des deux autres. Il nécessite une étape de préparation. Tout d'abord, l'imprimante va générer une atmosphère optimale dans l'enceinte d'impression, pour cela elle va en réchauffer l'air. Simultanément, la chambre de construction va être remplie d'un lit de poudre de 3 mm, facilitant la récupération de l'objet à la fin de la production. Intervient ensuite un calibrage des têtes d'impression. L'impression peut alors débuter. La machine dépose une couche de 0,1 mm d'épaisseur sur le plateau de construction. Un chariot d'impression passe alors au-dessus de cette couche et y dépose de manière sélective le liant. Au contact du liant, la poudre se solidifie et forme une des strates de l'objet. La plateforme descend alors de 0,1 mm et le processus recommence. Une fois toute le modèle créé couche par couche, il continue sa solidification dans la couche de poudre par séchage. A la fin de ce temps de prise, la poudre excédentaire est automatiquement enlevée par aspiration avec vibration par le fond de la chambre de construction. La poudre récupérée est filtrée et recyclée pour la conception d'un futur projet. Le modèle obtenu peut être utilisé ainsi, ou subir un post traitement par infiltration de résine pour le renforcer ou améliorer sa finition. [4]

4.3.2.3.1.2.3.3. Les matériaux :

Comme vu précédemment, actuellement seuls les cires et les résines photo polymérisables sont utilisées en impression 3D.

4.3.2.3.1.2.3.4. Indications :

De par leurs faibles nombres de matériaux, l'impression 3D est encore limitée à la production de maquettes calcinables, de prothèse provisoire ou de validation. Elle permet donc de produire des maquettes calcinables de châssis de stellite, de couronnes et chapes métalliques, d'armature ou de bridge métallique. Tout comme la stéréolithographie, il est possible de concevoir des modèles issus d'empreintes optiques et des guides chirurgicaux et radiologiques d'implantologie. [4]

4.3.2.3.1.2.3.5. Avantages/inconvénients :

Cette technique a l'avantage d'être très économique en matière première et évite les gaspillages. De plus, sa productivité est bonne pour certains systèmes, il est possible de fabriquer jusqu'à 600 éléments par jour. Toutefois, aucun produit fini ne peut être réalisé, tous devront être coulés. Les coups de maintenance sont importants et la machine nécessite de fonctionner régulièrement pour éviter à la résine de boucher les buses. Et enfin les matériaux utilisés sont chers, il faut compter 600 € par kilo de résine calcinable et 200€ pour la cire. [4]

4.3.2.3 .1.2.4. Le frittage laser :

4.3.2.3 .1.2.4.1. Définition :

Le frittage laser a été défini par G.Cizeron de l'institut de céramique française comme « un processus faisant évoluer par traitement thermique un système constitué de particules individuelles (ou un aggloméré poreux), en l'absence de pression externe exercée ou sous l'effet d'une telle pression, de sorte qu'au moins certaines des propriétés du système (sinon toutes) soient modifiées dans le sens d'une réduction de l'énergie libre globale du système. Parallèlement, cette évolution entraîne une diminution importante (sinon complète) de la porosité initiale. Enfin, le processus suppose qu'au moins une phase solide existe constamment pendant tout le traitement thermique, de façon à conserver une certaine stabilité de forme et de dimension au système considéré. » En bref ce procédé consiste à densifier en faisant fondre un matériau sous forme de poudre par l'apport thermique d'un faisceau laser. Cette densification est sélective et permet de créer des objets couche par couche. Pour cela, la machine dépose une couche d'une dizaine de micromètres sur une plaque support. Un faisceau laser ou d'électron, vient ensuite plus ou moins chauffer les grains, selon la méthode employée. En résulte une densification sélective de la poudre formant une tranche transversale de l'objet final. Une fois la couche terminée, le plateau descend d'une épaisseur de strate et on remet une couche de poudre qui sera chauffée et ainsi de suite jusqu'à formation de l'objet. Pour éviter toute oxydation, le travail est effectué sous une atmosphère contrôlée. [4]

4.3.2.3 .1.2.4.2. Les différents principes :

4.3.2.3 .1.2.4.2.1- SLM : Sélective Laser Melting :

Dans ce cas, la densification se fait via une phase liquide entraînant une fusion partielle ou totale de la poudre.

i. La fusion partielle : Dans ce processus, on a à faire à deux phases distinctes : une, solide, formant la matrice structurelle et une, liquide, formant un liant dans la phase solide. La phase matricielle et la phase liante peuvent être issues du même matériau dans ce cas il s'agit d'une fusion partielle proprement dite, le liant émanent de la fonte de la partie superficielle des grains de poudre. Où les deux phases peuvent être issues de deux matériaux distincts mélange aux seins de la

poudre. La phase liante provient d'un matériau ayant un point de fusion et une granulométrie, plus bas que celui constituant la phase solide.

ii. La fusion totale : Comme son nom l'indique, ici il n'y a qu'une seule phase densifiée par fusion totale. Ce procédé est utilisable avec une poudre de métal pur ou d'alliage. [4]

4.3.2.3.1.2.4.2.2 - SLS : Selective Laser Sintering :

Dans ce cas, il s'agit d'un frittage à l'état solide sans fusion. C'est un processus qui s'effectue à des températures comprises entre la moitié et le point de fusion du matériau. C'est dans cet intervalle de température que se crée des ponts entre les différentes particules de poudre. [4]

4.3.2.3 .1.2.4.3. Les matériaux :

Ce sont tous les métaux et alliages utilisés en dentaire comme le titane ou le Cr-Co par exemple.

4.3.2.3 .1.2.4.4.Indications :

Le frittage laser est utilisé pour la confection d'inlay-core, couronnes et bridge métallique, d'armature de couronnes et bridges céramo-métalliques, la confection de châssis de stellite. [4]

4.3.2.3 .1.2.4.5. Avantages/inconvénients :

Cette technique comme toutes les techniques additives, est économique en matériaux, la poudre non utilisée est recyclée. La précision est de l'ordre de 20 à 50 µm. Les chambres de fabrication étant souvent grande, elles permettent l'élaboration de beaucoup d'unité en même temps et ceci 24 heures sur 24 car la chaîne est entièrement automatisée. Cela a bien sûr une répercussion sur l'encombrement et le poids de la machine qui devient difficile à placer dans un laboratoire de prothèse. Son prix, lui aussi, est élevé : il faut compter entre 160 000 et 450 000 € ainsi que son entretien : les lasers qui ont une durée de vie limitée (10 000 heures) ne coûtent pas moins de 70 000 €. Notons qu'il est très difficile de changer de matériau, cela nécessite un nettoyage complet de la machine et une reprogrammation. Enfin les productions produites nécessitent un polissage pour passer d'un aspect de surface rugueux à lisse. [4]

4.4. Comparaison des deux techniques : directe et indirecte :

4.4.1. En fonction de l'indication :

4.4.1.1. Dyschromie sévère :

Une restauration monobloc ne peut à la fois masquer la dyschromie et jouer sur les effets de translucidité.

Dans les cas extrêmes de dyscolorations une stratification dans la masse sur une chape de céramique opaque par le prothésiste est préconisée. [53]

4.4.1.2. Anomalie de forme :

Dans le cas d'anomalie multiple, on opte pour la technique indirecte, vu le nombre de paramètres à prendre en compte, et la nécessité d'une prise en charge globale et des échanges avec le prothésiste dont la validation du wax up, gestion de l'espace disponible et les provisoires.

En contrepartie, si il s'agit d'une anomalie isolée pourra être corrigée en technique directe ou indirecte sans avantage particulier pour l'une ou l'autre. [53]

4.4.1.3. Demande esthétique :

Dans les situations simples, il est raisonnable d'utiliser la CFAO directe, elle est parfaitement adaptée pour les cas de restauration par facette unitaire en présence de dents adjacentes peu caractérisées ou dans la réalisation de plusieurs facettes simultanées. [53]

En revanche, dans les cas plus complexes comme le cas d'une facette isolée et en présence de dents adjacentes très caractérisées, il est préférable d'utiliser la technique indirecte et de faire intervenir l'expertise du prothésiste pour obtenir une intégration esthétique optimale.

Lorsque la teinte ou encore la forme sont difficiles à reproduire, l'étape de CAO et de maquillage s'en trouvent rallongées. Il vaut mieux dans ces cas-là, déléguer à son laboratoire. [53]

4.4.1.4. Matériau utilisé et usinage :

Le manque de diversité des matériaux utilisés n'est plus un problème, le choix aujourd'hui est très large, la technique utilisée que ce soit la CFAO directe, indirecte ou technique traditionnelles n'impose pas l'utilisation d'un matériau spécifique, d'un autre côté ça dépend de la situation clinique et des habitudes du clinicien. [53]

A l'exception des céramiques polycristallines (zircone et alumine) qui nécessitent le passage par l'étape laboratoire, ce qui n'est pas le cas dans la CFAO indirecte, elles ne sont aussi pas utilisées pour la réalisation de facettes.

La première génération des machines impliquait que les dentistes et les prothésistes devaient avoir la même marque pour pouvoir échanger les données, Cela tend à disparaître car face au plébiscite des prothésistes dentaires pour les systèmes ouverts, les fournisseurs ont ouvert leurs systèmes de fabrication pour permettre la libre circulation des données d'un cabinet, à un laboratoire, à un centre d'usinage.

Les usineuses de cabinet sont légères et sensibles aux vibrations générées durant l'usinage et aux vibrations environnementales, cela peut causer la casse de la facette en cours d'usinage si l'épaisseur de celle-ci est très réduite.

Contrairement aux usineuses de gros calibres des laboratoires et des centres d'usinage dont le poids limite les vibrations.

Une étude de septembre 2016 montre que les machines à cinq axes produisent des pièces avec une meilleure précision d'ajustement marginal que les machines à trois axes : les machines de

laboratoire seront plus précises.

Pour conclure les prothèses réalisées en laboratoire ont une meilleure précision et une meilleure intégration de surface, Cependant, l'usinage en cabinet permet d'effectuer les restaurations en un seul rendez-vous. [53]

4.4.1.5. Urgence de la situation :

La technique directe permet la réalisation de la prothèse en une séance.

Par exemple, dans le cas d'une dent antérieure fracturée suite à un traumatisme, la dent est préparée, une empreinte est réalisée et la pièce est usinée. L'esthétique et la fonction sont restaurées instantanément. Le but est de reconstruire les dents fracturées en une seule séance, sans traitement provisoire et sans délai, ce qui permet un collage dans des conditions optimales : sur une dentine fraîches non contaminée. [53]

L'absence d'inter-séance et la séquence de préparation et de collage de la reconstruction ont montré un taux significatif de sensibilité postopératoire. Cependant, la recherche montre que ces sensibilités disparaissent complètement après quelques jours à quelques semaines. La CFAO directe ne semble pas avoir d'effet sur l'intégrité de la pulpe. [53]

4.4.1.6. Importance de la préparation et situation des limites :

Comme pour les dents hautement caractérisées, la CAO d'un grand nombre d'éléments prend du temps. Avec les tarifs horaires d'un cabinet dentaire, il peut sembler avantageux de confier l'usinage de CAO et diverses préparations au prothésiste.

Au-delà de 4 éléments, la méthode indirecte est à privilégier.

Contrairement aux matériaux utilisés dans les empreintes physico-chimiques, les caméras n'enregistrent que les structures visibles. De même, le tissu parodontal enflammé peut affecter la numérisation car elle est très sensible aux fluides. La présence de sang, de salive ou de fluides sulculaires est documentée par caméra vidéo et peut affecter la restauration. Par conséquent, un environnement parfaitement sain est important. [53]

- Limites cervicales supra-gingivales :

C'est la situation la plus courante dans la production des facettes. La préparation est hémostatique et sèche à l'aide d'une solution chimique ou d'une patte de déflexion à faible viscosité. Nous privilégions les empreintes optiques intra-orales à l'aide d'un scanner intra-oral pour numériser directement la préparation dentaire afin de permettre la CFAO directe ou semi-directe.

- Limites juxta-gingivales ou légèrement infra-gingivales ($\leq 0,2$ mm) :

En situation de limites cervicales juxta ou légèrement infra-gingivales, En plus de l'hémostase et de la sécheresse, une légère déflexion est nécessaire pour éverser la gencive et laisser passer le faisceau. Ce type de limite permet d'avoir des empreintes optiques de haute qualité si la

technique de conditionnement gingival est maîtrisée.

- **Limites très infra-gingivales (> 0,2 mm) :**

Dans ce cas, il n'est pas possible de balayer directement les bords de la préparation avec une caméra optique intra-orale. Nous préférons passer par l'empreinte conventionnelle. [53]

4.4.2. Empreinte numérique versus empreinte conventionnelle :

4.4.2.1. Précision :

Lors des empreintes optiques, les erreurs courantes associées aux empreintes traditionnelles, telles que les limites manquantes, la tension et le manque de cohésion entre les matériaux d'empreinte à double viscosités, sont évitées.

Ainsi l'adaptation marginale et interne des restaurations était meilleure lors de la prise d'empreintes numériques par rapport aux empreintes traditionnelles.

Une numérisation directe, suivie d'une numérisation des empreintes classiques, et enfin des moulages en plâtre prodiguent une précision meilleure des modèles numériques.

Le défi de précision pour les scanners intra-oraux est le balayage de l'arcade complète. En effet, l'accumulation de données informatiques réduit la précision globale de l'empreinte numérique du fait de l'augmentation de la surface de la zone numérisée. Ainsi, plus la surface numérisée est étendue, plus la précision moyenne sera mauvaise/réduite. [53]

4.4.2.2. Visualisation directe de l'empreinte :

La qualité de l'empreinte dépend directement du respect du principe de préparation : les limites de finition doivent être visibles et précises.

Le travail de préparation est effectué selon les exigences spécifiques du matériau de restauration. Les caméras optiques nous permettent de visualiser nos préparations directement sur l'ordinateur, en les zoomant et en les orientant dans l'espace. Cela nous permet de corriger immédiatement les défauts (contre-dépouilles, limites indéterminées, becs d'émail, etc.).

4.4.2.3. Diminution du nombre d'étapes intermédiaires :

De nombreuses étapes de laboratoire, sources potentielles d'erreur, peuvent être supprimées/évitées par l'utilisation des empreintes optiques. A savoir :

- La désinfection et décontamination des empreintes
- La coulée, le fractionnement, le détournage
- L'application uniforme d'un vernis d'espacement.
- Les déformations de la maquette en cire durant ses manipulations.
- Les étapes de coulée et de refroidissement.
- Les aléas de température, de stockage ou encore de transport.

L'empreinte digitale est inaltérable et son traitement par informatique est simplifié, limitant tout risque d'erreur humaine. Sa sauvegarde est illimitée dans le temps, ce qui permet de refaire le travail sans

refaire les empreintes en cas de problème. [53]

4.4.2.4. Ergonomie :

Les empreintes optiques peuvent être progressivement obtenues, corrigées et améliorées jusqu'à l'obtention du résultat optimal souhaité.

Dans le cas des patients ayant un réflexe nauséux, les empreintes optiques offrent un meilleur confort que les empreintes physico-chimiques.

Cependant, le volume des caméras diffère, et la taille de la tête de la caméra peut gêner l'empreinte des préparations postérieures, surtout chez les patients ayant une ouverture buccale limitée. Au niveau antérieur, ce n'est généralement pas un problème.

Les données numériques de l'empreinte optique sont archivées dans un fichier informatique, ce qui économise de l'espace en pratique. [53]

4.4.3. Coût :

L'investissement initial est énorme.

Une caméra intra-orale seulement coûte entre 25 000 et 40 000 €, et un système complet de CFAO direct au cabinet vaut 75 000 à 120 000 € selon le type de l'usineuse choisie.

Ajoutant à cela les mises à jour logicielles payantes, l'entretien du matériel et les consommables (blocs de céramique, remplacement de la fraise tous les 10 à 25 cycles, produits d'entretien du moulin, électricité, eau).

C'est pourquoi il est nécessaire d'évaluer à l'avance les coûts et les revenus que cet investissement générera, ainsi que le nombre minimum d'unités nécessaires pour le rembourser.

Le prix élevé de la machine rend l'investissement risqué et difficile à récupérer dans la plupart des laboratoires dentaires. Pour résoudre ce problème, les prothésistes dentaires peuvent partager leur équipement. Cela permet même aux petits laboratoires d'utiliser des outils CAD/CAM. [53]

4.4.4. Ergonomie :

4.4.4.1. En CFAO directe, au cabinet

- Aucun stock de porte-empreinte ou de silicone requis
- Aucun problème de désinfection d'empreintes, stockage ou d'expiration
- pas besoin de prendre une empreinte complète de l'arcade antagoniste
- Suppression des étapes temporaires qui pourraient affecter le collage
- Fini les séances d'essayage et des anesthésies répétées
- Il n'est pas nécessaire de préparer le matériel et le matériau d'empreinte, l'assistant peut travailler avec le dentiste dans une véritable coopération à quatre mains.
- traçabilité facile ; Planning optimisé ; gagner du temps au cabinet

La numérisation intra-orale avec une caméra intra-orale ne permet pas de gérer tous les cas de restauration. En effet, la CFAO indirecte reste obligatoire lorsque le traitement nécessite un montage en

articulateur et l'utilisation d'un arc facial. [53]

4.4.4.2. En CFAO indirecte, au laboratoire :

- pas besoin de la coulée de modèles.
- aucun support de plâtre ni articulateur requis.
- meilleure communication dentiste-prothésiste grâce à la possibilité de discuter de la même image à distance.
- éliminer les frais de messagerie.
- réduire les retards.
- gain de temps au laboratoire. [53]

5. CFAO vs méthode traditionnelle :**5.1 Comparaison entre la C.F.A.O. et la méthode traditionnelle**

- Lorsqu'il s'agit de la dentisterie, la CFAO dentaire (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) est devenue de plus en plus populaire ces dernières années. Voici une comparaison entre la CFAO dentaire et les méthodes conventionnelles utilisées en dentisterie
- Précision et ajustement : La CFAO dentaire utilise des scanners intra-oraux et des logiciels de conception pour créer des modèles numériques précis de la cavité buccale du patient. Ces modèles sont ensuite utilisés pour concevoir des prothèses dentaires, comme des couronnes, des bridges ou des facettes, qui s'adaptent parfaitement à la structure buccale du patient. Les méthodes conventionnelles, en revanche, nécessitent des empreintes physiques qui peuvent être moins précises et entraîner des ajustements supplémentaires.
- Temps de production : La CFAO dentaire permet une production plus rapide des prothèses dentaires. Une fois que la conception numérique est terminée, les prothèses peuvent être fabriquées directement sur place à l'aide de machines de fraisage ou d'impression 3D. En revanche, les méthodes conventionnelles impliquent souvent l'envoi des empreintes aux laboratoires dentaires, ce qui peut prendre plusieurs jours ou semaines avant de recevoir les prothèses finies.
- Confort du patient : La CFAO dentaire offre une meilleure expérience pour le patient. Les scanners intra-oraux permettent de prendre des empreintes numériques rapides et confortables, éliminant ainsi le besoin de pâte à empreinte traditionnelle qui peut provoquer des inconforts. De plus, les prothèses fabriquées avec la CFAO dentaire ont tendance à mieux s'ajuster, offrant ainsi un meilleur confort et une meilleure esthétique pour le patient.
- Modifications et réparations : La CFAO dentaire permet des modifications et des réparations rapides et précises des prothèses dentaires. Les conceptions numériques peuvent être facilement modifiées dans les logiciels CAO, et les nouvelles prothèses peuvent être produites rapidement. En revanche, avec les méthodes conventionnelles, les modifications et les réparations peuvent prendre plus de temps et nécessiter de nouvelles empreintes et des étapes supplémentaires.
- Coût : Initialement, la mise en place d'un système de CFAO dentaire peut représenter un investissement plus élevé en termes d'achat d'équipement et de formation du personnel. Cependant, à long terme, la CFAO dentaire peut réduire les coûts liés aux empreintes physiques, aux matériaux perdus et aux répétitions de travaux.
- En général, la CFAO dentaire offre des avantages significatifs en termes de précision, de rapidité de production, de confort du patient et de flexibilité pour les modifications.
- Cependant, il est important de noter que certaines procédures dentaires peuvent encore nécessiter des méthodes conventionnelles, et chaque cas doit être évalué individuellement par

le professionnel de la dentisterie pour déterminer la meilleure approche.

- Il existe de nombreux systèmes de C.F.A.O. très différents cela rend la comparaison difficile entre les deux méthodes. De plus les matériaux sont différents et la Zirconie, seul matériau qui ne peut être mise en forme uniquement par usinage, apporte de très nombreux avantages en prothèse tout céramique et donc donne à la C.F.A.O. un avantage certain.
- Au niveau de l'acquisition, la précision d'une méthode d'empreinte classique est autour de 20 à 50 micromètres comme une méthode par micropalpage, alors qu'une méthode d'empreinte optique peut descendre en dessous de 5 micromètres. Par contre, le fait d'être obligé de corréler plusieurs vues pour avoir un seul objet sous toutes ses faces ramènent la précision d'une empreinte optique autour de 20 micromètres. Le mode de corrélation est donc aussi important que le mode de prise d'empreinte lui-même [1].
- Mais le fait de travailler sur un modèle en plâtre, issu d'une empreinte par contact surfacique en C.F.A.O. dentaire, ajoute théoriquement un risque de déformation supplémentaire. Ceci est rattrapé par le passage direct de la maquette virtuelle à l'usinage définitif.
- La C.F.A.O. comporte moins d'étapes intermédiaires qu'en technique traditionnelle. Nous comprenons ainsi facilement que pour éliminer le plus possible les passages intermédiaires entre la préparation et la prothèse finie, l'empreinte directement en bouche paraît être une évolution logique et inévitable.
- Au niveau du joint dento-prothétique, la technique de coulée et de C.F.A.O. arrive aux mêmes résultats d'environ 50 à 100 micromètres. Mais la plupart des systèmes de C.F.A.O. nécessite une retouche des surcontours des limites cervicales de la prothèse d'usage. Cependant ce joint, tout comme l'espace de collage au niveau de l'intrados, peut être réglé de façon très précise lors de la conception virtuelle de la chape.
- Au niveau de la qualité des matériaux, les résultats de l'usinage sont bien supérieurs à ceux de la prothèse traditionnelle. Pour la céramique usinée, les blocs fabriqués
- Industriellement présentent une structure plus homogène, plus dense et plus résistante que les céramiques conçues en laboratoires.
- Pour les alliages, l'usinage permet d'obtenir un matériau plus homogène, sans bulle et moins corrosif. De plus, le titane usiné dépasse en précision le titane coulé. L'usinage apporterait aussi une constance dans les résultats qui serait due à la suppression de la main d'œuvre humaine dans les tâches répétitives.
- La pérennité des prothèses de C.F.A.O. est difficile à évaluer car trop de paramètres autres que la technique de fabrication entre en jeu. Dans une étude, les systèmes de C.F.A.O. obtiendraient Seulement de 0 à 4,4% d'échec dans la réalisation d'inlays/onlays, soit de meilleurs résultats que les autres systèmes.

- Au niveau des coûts, la prothèse par C.F.A.O. reste plus chère que la prothèse traditionnelle. Mais cela est dû à la moindre utilisation par les chirurgiens-dentistes de la C.F.A.O dentaire par rapport à la prothèse traditionnelle. [8]

5.2 Intérêt recherché pour la CFAO :

*Les objectifs de la CFAO sont de réduire les gestes répétitifs des empreintes physiques et les imprécisions de l'Homme tout en augmentant l'efficacité et la sécurité de la production. Nous pouvons noter de nombreux avantages par rapport à la dentisterie conventionnelle :

En premier lieu, pour le praticien : la suppression de l'étape d'empreinte conventionnelle et son remplacement par l'empreinte optique peut être plus facile et plus rapide. Deuxièmement pour le patient, cette étape est plus rapide et plus confortable ; Enfin concernant la qualité du travail : les modèles obtenus sont plus précis (suppression des imprécisions dues à l'empreinte et la coulée du plâtre, et précision des techniques industrielles d'usinage.

- les avantages de l'empreinte optique sont notables en cas de réflexe nauséux, la fragilité des muqueuses (les matériaux d'empreintes peuvent être agressifs pour les muqueuses irradiées) ou alors tout simplement pour le confort du patient.
- Tous les blocs de matériel C.F.A.O. sont identifiés par des codes-barres et certains possèdent des cartes à puce individuelles, ce qui les rend particulièrement adaptés au concept de traçabilité, La sauvegarde informatique C.F.A.O. facilite la sauvegarde des données. La destruction ou la dégradation du modèle en plâtre entraînera une perte de données irrécupérables, mais la préparation, une fois enregistrée, reste en sécurité sur votre disque dur grâce à la technologie CAO. [54]

Cette technologie offre la possibilité d'utiliser de nouveaux matériaux plus performants qui ne peuvent être mis en forme que par usinage, comme la zircone. Le titane est également plus facile à usiner qu'à couler, ce qui facilite son utilisation dans les prothèses

*Avantages des composites CAD/CAM dans les prothèses unitaires-implantées

L'essor de la CFAO a permis d'élargir la gamme de matériaux cosmétiques utilisables pour les prothèses implanto-portées. Les composites permettent de pallier les inconvénients mécaniques des matériaux disponibles, Si ces nouveaux matériaux se revendiquent actuellement esthétiquement peu compétitifs par rapport aux céramiques conventionnelles, ils présentent d'autres propriétés mécaniques qui les rendent a priori très adaptés aux prothèses implanto-portées, En effet, dans cet

Environnement non parodontal, la capacité de charge et la proprioception sont limitées, et les contraintes mécaniques occlusales peuvent être préjudiciables non seulement aux prothèses, mais également aux implants et aux tissus de soutien. Les composites CAD/CAM ont-ils des propriétés mécaniques proches de celles des dents naturelles, ils réduisent le risque d'écaillage grâce à leur résorbabilité. [55]

- les avantages d'utiliser (CAO/FAO) dans la conception et la réalisation de la reconstruction coronaradiculaire (RCP) sont notables, adaptation et étanchéité, force de collage, résistance à la fracture, distribution des contraintes, technique de réalisation et type d'empreinte. Les RCRs obtenues par CFAO présentent une adaptation précise et homogène, permettant une force de collage supérieure aux RCRs par tenons préfabriqués.

L'utilisation de la CFAO permet une bonne adaptation, la mise en œuvre de matériaux biocompatibles, esthétiques et répondant au cahier des charges. L'utilisation du flux numérique apporte en gain de rapidité, prédictibilité et confort. [56]

*La technologie CAD/CAM est en plein essor ces dernières années et est de plus en plus utilisée en dentisterie pédiatrique en raison de certains avantages. Les principales utilisations sont les suivantes :

- Premièrement, la CFAO s'intègre dans le principe de préservation tissulaire en permettant la conception de pièces prothétiques partielles. Le développement des techniques d'assemblage permettra une fabrication au moins plus douce que les techniques traditionnelles de fabrication prothétique. La préservation des tissus est encore plus intéressante pour les jeunes patients qui doivent répéter les réparations dans le temps. En limitant la dégradation des tissus, la vitalité de la pulpe est maintenue et par conséquent la longévité des dents au sein de l'arcade.

Par rapport aux couronnes pédiatriques standard (PPC) : Facilite l'adaptation cervicale, les opérations d'hygiène et maintient la santé parodontale, L'esthétique est également améliorée.

- l'utilisation d'outils CAD/CAM peut améliorer la communication médecin-patient. En effet, ce dernier est utile pour les opérations informatiques effectuées par les médecins.

A cela s'ajoute un intérêt pédagogique pour les enfants et leurs parents qui leur permettent de participer visuellement aux différentes étapes de fabrication des prothèses. Les systèmes CAD/CAM sont perçus comme des jeux vidéo, améliorant ainsi l'acceptation des soins. Les parents y voient un outil technologique innovant. Aux différents avantages ci-dessus, vous pouvez également ajouter votre intérêt, Non seulement il est ergonomique et écologique, mais il est aussi pratique car l'empreinte est virtuelle et ne s'altère pas dans le temps.

Cependant, nous pouvons identifier les facteurs qui empêchent l'utilisation de la CFAO. Bien qu'un équipement complet représente un investissement important dans la pratique, les bibliothèques d'imagerie pédiatrique actuelles n'incluent pas la morphologie des dents de lait.

*De plus, l'utilisation d'un système CAD/CAM réduit considérablement le temps de mise en œuvre. En effet, en technique directe, dans le cas le plus simple, le temps total de réalisation de l'empreinte optique à l'étape de maquillage est de 1h à 1h30, La prothèse peut donc être ajustée dans la même séance, d'où Clairement le nombre de séances. Cela élimine également les étapes de prothèse temporaire entre les séances lorsque le travail est envoyé au prothésiste. [57]

- Il y a un intérêt évident à utiliser des impressions visuelles. Si la coordination est difficile, la caméra intra-orale prend moins de place qu'une empreinte physico-chimique et peut être acquise rapidement. Cette facilité d'utilisation est renforcée lorsque l'appareil photo n'a pas besoin d'être pré-poudré. Il est ainsi encore plus facile d'interrompre un entretien et de recommencer au même point. [54]

6. L'évolution :**6.1 L'évolution de la relation patient/praticien :**

La relation entre les patients et le médecin dentiste est particulière, elle nécessite de la confiance qui est essentielle pour qu'un patient adhère pleinement à un plan de traitement. Dès la prise de rendez-vous par le patient jusqu'au règlement final, tout est affaire de communication. Les nouvelles technologies utilisées convenablement peuvent améliorer la communication et la sensation d'une bonne prise en charge, et lui donne l'impression que le praticien se donne tous les moyens modernes pour soigner le mieux possible. De nouveaux moyens se proposent d'améliorer la communication dans le cabinet dentaire, faisant appel à l'image numérique et à l'informatique, comme par exemple l'utilisation de l'empreinte optique semble intéressant car elle suscite la curiosité des patients sur les nouvelles technologies, La CFAO chair-side ou le patient peut assister à la conception de sa pièce prothétique cette technologie évite l'utilisation parfois chronophage et délicate d'un provisoire ainsi que la programmation d'un deuxième rendez-vous avec des anesthésies supplémentaires. De nombreux patients apprécient de recevoir la restauration finale le même jour que le soin. Cela leur permet une économie de temps, de déplacement et d'attente. Ces technologies sont des éléments différenciateurs assurant une meilleure visibilité du cabinet. [8]

6.2. L'évolution de la relation praticien/prothésiste :

Les médecin-dentistes et les prothésistes dentaires ne peuvent travailler indépendamment les uns des autres. La recherche de la qualité, tant du côté du laboratoire de prothèse que du cabinet dentaire, requiert un véritable travail d'équipe. Une communication construite, claire et concise, fondée sur le respect, la confiance et les avantages mutuels, représente la clé de voûte de cette relation. Deux grandes révolutions viennent bouleverser cette relation praticien/prothésiste : l'intrusion du numérique et d'Internet en prothèse dentaire, qui modifie profondément la communication entre les deux parties ; la C.F.A.O. qui transforme progressivement le métier du prothésiste. La transmission correcte des différentes informations cliniques perçues par le praticien sur son patient est parfois compliquée à retranscrire et à communiquer parfaitement aux prothésistes. Il existe quatre moyens principaux de communication cabinet/laboratoire : par contact physique : rencontres ou déplacements bilatéraux ; utilisation du courrier avec la fiche de liaison ; utilisation du téléphone ; par Internet qui est un nouveau moyen peu répandu mais en cours de développement. Mais la communication par Internet requiert un minimum de connaissances techniques de l'informatique et un investissement matériel : ordinateur, serveur assurant une transmission sécurisé. On imagine très facilement les avantages qu'Internet apporte dans la communication entre le cabinet dentaire et le laboratoire de prothèse. En effet, la transmission instantanée des informations numériques (choix de la teinte, photo

Numérique, caméra numérique) par Internet, par des sites sécurisés, permet une communication facilitée, extrêmement rapide et beaucoup plus attractive pour le laboratoire de prothèse. De plus, avec les techniques de C.F.A.O. dentaire, Internet permet de gagner énormément de temps dans la transmission des données numériques entre laboratoire L'ambiguïté relative au langage pose des problèmes face à la communication entre médecins-dentiste et prothésiste. En effet, l'interprétation des paroles, nos différents a priori des mots et couleurs, nos différences de sensibilité aboutissent à une modification du message initial du praticien au prothésiste. Ainsi, l'utilisation de la photographie numérique, d'une Webcam, des systèmes de prises de teinte permet de lever par l'image cette ambiguïté et d'améliorer les résultats. Le savoir-faire artisanal du prothésiste en interactivité avec les techniques de C.F.A.O. et l'intrusion du numérique ont fait évoluer la profession de prothésiste vers une nouvelle spécialité celle « d'info-prothésiste » en analogie à l'infographiste. Ainsi, les moyens modernes de captage, alliés aux facteurs incontournables de la communication d'aujourd'hui, tels que la photographie numérique, les capteurs de teintes, les logiciels de gestion de photos, les cartes mémoire, les clés USB et Internet, favorisent une transmission de qualité des données entre le dentiste et l'info-prothésiste. Les moyens d'avenir comme la Webcam qui apporte l'image en plus de la parole, les systèmes d'empreinte par scannage en bouche, les logiciels proposant une cinématique en occlusodontie et l'exploration numérique des articulations temporo-mandibulaire, feront que les futurs prothèses seront fabriquées surtout devant un ordinateur plus exigeant, plus curieux et plus ou moins bien informé, est un facteur de rupture majeur à prendre en compte dans la relation patient/praticien. [8]

6.3. LES PROGRÈS ACTUELS ET FUTURS :

6.3.1. L'acquisition :

L'un des premiers buts de la C.F.A.O. était de développer l'empreinte en bouche pour tirer un maximum d'avantage de cette nouvelle technologie. En 2007, hormis le système CEREC, tous les autres systèmes de C.F.A.O. dentaire font des empreintes optiques sur des modèles issus de l'empreinte classique, aujourd'hui se rajoute plusieurs autres systèmes (les « anciens » et leurs améliorations, les « nouveaux » récemment commercialisés) permettent de réaliser une empreinte optique directement en bouche. Ceci s'expliquait par la difficulté de réaliser une empreinte optique directement en bouche (éclairage et humidité en bouche, accessibilité des dents postérieurs, durée de l'empreinte, enregistrement en mouvement, taille encombrante des caméras optiques) et par le fait que les systèmes de C.F.A.O. ont été créés dans un premier temps pour les laboratoires de prothèse, donc sans modifier le travail du praticien. Mais d'énormes progrès ont été faits et les outils de visualisation et d'acquisition des données, fondés sur la méthode de numérisation des formes dentaires par empreinte optique, gagnent en vitesse, en qualité, en précision et en simplicité. [58]

Depuis que des nouveautés des différents types de scanners intra-oraux ont été présentées à l'édition 2017 de l'IDS (International Dental Show) de Cologne, on peut dire que les systèmes de la C.F.A.O. dentaire aujourd'hui réorientent leurs systèmes d'acquisition vers l'empreinte optique directement en bouche. [58]

La prise d'empreinte optique en bouche s'effectuera à l'aide d'une caméra optique miniaturisé, en forme de pièce à main, à l'aide d'une technologie évoluant de l'empreinte statique à l'empreinte dynamique. [58]

Cette méthode a été permise du moment où les systèmes informatiques ont eu une précision, une résolution, un stockage et un traitement des données nécessaires. C'est à dire, suivant l'évolution informatique. [58]

Une technologie optique est actuellement utilisée ; **la lecture dynamique** :

- **La lecture statique :**

Elle consiste à enregistrer « vue après vue » puis de les corrélérer pour obtenir une image 3D.

Elle peut se faire en utilisant la technique du masque ou en utilisant la technique matricielle plus sophistiquée, comme le moiré électronique/phase profilométrie.

Elle peut se faire aussi en utilisant la méthode dite du temps de vol. [8]

- **La prise de vue dynamique :**

Elle consiste à filmer en continu et en 3D l'intérieur de la bouche, en enregistrant toutes les dents, les préparations voire même les mouvements mandibulaires. C'est l'actualité de la caméra endo-buccale. Ce qui a retardé l'application de cette méthode dynamique est la lenteur des traitements algorithmiques pour des masses d'informations brutes très élevées.

Parmi les systèmes utilisant cette technique, on cite :

TRIOS® (3Shape) et Carestream 3600 (Carestream Dental).

Une évolution récente des caméras de numérisation 3D intra-orales en termes de vitesse d'acquisition, de confort d'utilisation et de précision semble aujourd'hui en permettre une utilisation simple en pratique quotidienne.

Parmi les points essentiels de cette évolution, on parle de :

- Une prise de vue dynamique (déjà citée).
- Si l'inscription à la plateforme des systèmes est indispensable pour transférer les fichiers à son laboratoire avec la fiche laboratoire correspondante, il est toutefois maintenant possible d'exporter en .stl directement à partir du logiciel équipant la caméra : (TRIOS® (3Shape)), (Carestream 3600 (Carestream Dental)).
- La taille miniaturisée des caméras intra-oral et le poids légère, facilitant la prise d'empreinte en bouche sans encombrement : (GC IOS (GC) : 70g).

- la taille plus réduite de la caméra et sa tête angulée caractéristique permettant un meilleur accès dans les zones difficiles :(iTero® (Align Technologies)).
- Caméra sans fil avec batterie intégrée dans sa poignée et qui peut rester relié en Wi-Fi à l'unité centrale dans un rayon de 10 m. Lorsqu'on est éloigné de l'écran, la caméra sert de manette de contrôle pour naviguer dans les menus et faire pivoter l'empreinte numérique à l'écran. La fonction « monitoring » : (TRIOS® (3Shape))
- Possession d'un écran tactile multitouche, permettant des manipulations à l'écran avec plusieurs doigts :(iTero® (Align Technologies)).
- Un kit de désinfection de haut niveau (HLD, *high level disinfectants*) est disponible, ce qui représente désormais une vraie solution de stérilisation de l'embout de la caméra par rapport aux caméras concurrentes à embouts autoclavables.
- La tête du scanner comporte des signaux lumineux indiquant si les données sont acquises avec succès, ce qui implique que l'on doit regarder en direction du patient (et non de l'écran de contrôle) lors de l'acquisition : DWIO Odeon (Dental Wings)
- un guidage en temps réel du scannage par des flèches à l'écran, indiquant les trajets à effectuer ou les zones à re-scanner, est proposé par : Carestream 3600 (Carestream Dental). [58-8]

6.3.2. La conception et l'usinage :

La conception est intimement liée à l'usinage. En effet, si nous réalisons virtuellement des couronnes très précises et qu'elles ne peuvent être réalisées par usinage, la conception ultra-précise n'aura servi à rien. Donc l'évolution de la conception doit aller de pair avec l'augmentation de la précision et de la finesse de l'usinage.

La conception peut être limitée par l'acquisition et la qualité de cette dernière. Ainsi, pour une conception complète, nous avons besoin des références que représentent les dents contre-latérales, les antagonistes et agonistes ; mais aussi des formes, types, teinte de la dent ainsi que les informations secondaires, comme l'état civil et la forme du visage.

L'évolution des logiciels de conception est très rapide. Un bon logiciel doit être instinctif, logique, convivial et facile à utiliser. Il doit aussi proposer une multitude de possibilité en fonction des différentes possibilités et indications du système de C.F.A.O. dentaire auquel il appartient.

a) Au niveau mécanique, le logiciel devra :

- rechercher les limites de la préparation de façon automatique,
- prendre en considération le profil d'émergence,
- rechercher l'axe d'insertion optimal de la pièce prothétique
- déterminer un espace de collage optimal.

- déterminer une épaisseur optimale de la chape, réaliser une chape homothétique pour éviter des pans de céramiques non soutenus incompatibles avec la fragilité de la céramique cosmétique,
- élaborer des bandeaux de soutien, optimiser le volume des connexions de bridge.
- placer les intermédiaires de bridge de façon optimale...

b) Au niveau de l'occlusion :

- le logiciel devra posséder une bibliothèque gnathologique imposant une surface tripodique, ou une bibliothèque fonctionnaliste permettant une morphologie plus douce. L'occlusion sera ensuite prise en charge au niveau statique et la pression des points de contact sera visualisée par des zones de couleurs. Ensuite, les logiciels les plus performants proposeront une simulation en dynamique en intégrant les mouvements mandibulaires en propulsion, en diduction et en latéralité, mais aussi en simulant les mouvements directement en mastication, phonation etc... Ainsi, par simulation, la couronne sera parfaitement intégrée à la cinématique mandibulaire.
- Les logiciels devront posséder une bibliothèque de données riche, enrichissable, organisée en fonction de l'âge des patients, du sexe, de la forme et du type de dent, de la typologie du visage etc... La bibliothèque de données pourra prendre en compte automatiquement les photographies numériques et les appareils numériques de choix de la teinte pour choisir une dent la plus naturelle et la plus ressemblante possible.
- Le logiciel pourra aussi réaliser une réplique par un effet miroir de la dent contre- latérale.

Pour PRESTON, il existerait **huit critères esthétiques** à respecter. Les logiciels devront prendre en compte ces huit critères :

1. la dimension des dents qui représente un espace vital et qui est composé d'un plan frontal, mésial, lingual, distal, occlusal et cervical ;
2. les embrasures qui sont incisales, frontales, cervicales et inter radiculaires ;
3. le long axis qui est une ligne réunissant différents centres de gravité de la dent ;
4. les zones de transition qui sont les zones de jonction des surfaces des dents voisines ;
5. les zones de contact ;
6. la position sur l'arcade ;
7. la surface de contour ;
8. les diastèmes.

Ce qui reste le plus important pour ces logiciels, c'est que tous les paramètres soient soumis à des contrôles empêchant l'apparition d'aberration de modélisation, sorte de garde-fou de la forme esthétique externe.

c) Au niveau de l'usinage :

- L'évolution se fera vers des machines/outils de plus en plus performantes et rapides qui permettront de réaliser des pièces de plus en plus complexes, précises et avec un niveau d'état de surface quasiment fini.
- L'évolution, au niveau des laboratoires de prothèse, se fera progressivement avec de petits laboratoires qui s'équiperont de plus petite machine de C.F.A.O. et avec l'apparition de véritable industrie d'usinage spécialisée dans la prothèse dentaire.
- L'évolution de l'usinage s'effectuera aussi avec les progrès des matériaux. [58-8]

6.3.3. Allons-nous vers la disparition du prothésiste ?

Avec le remplacement des tâches répétitives dans la conception des pièces prothétiques, l'avènement de l'empreinte en bouche qui supprime la coulée des modèles et les machines/outils d'usinage à commande automatique, cette question peut se poser. Mais le travail du prothésiste se limite-t'il aux travaux cités, ou ses compétences sont-elles plus étendues ? Est-ce que la machine peut se passer de toute manœuvre humaine dans la chaîne de fabrication des prothèses dentaires ? Est-ce que le chirurgien-dentiste peut réaliser toutes les étapes de la conception d'une prothèse dentaire avec l'aide des systèmes de C.F.A.O. ? Peut-il grâce à ces systèmes réaliser des prothèses sans perdre trop de temps dans sa pratique quotidienne ?

Quelques systèmes (CEREC® Omnicam, et MyCrown (Fona Dental) dernièrement) permettent de se passer totalement du prothésiste. Le chirurgien-dentiste contrôle l'ensemble de la fabrication d'une prothèse d'usage. Mais nous l'avons vu, le système CEREC® par exemple est limité en indication et propose uniquement des pièces prothétiques en tout céramique usiné à partir d'un bloc monochromatique de céramique (Inlay/onlay, couronne unitaire, couronne monobloc, des facettes céramiques) et malgré la possibilité de maquillage des blocs, ils présentent un moins bon résultat esthétique par rapport au montage de céramique cosmétique sur une chape en céramique. En effet, dans la plupart des autres systèmes de C.F.A.O. dentaire, la machine/outil usine une chape en céramique qui est secondairement recouverte de céramique cosmétique montée de façon traditionnelle, couche par couche par un prothésiste. Il met tout son savoir-faire artistique pour reproduire et maquiller le mieux possible la couronne en céramique. Le résultat esthétique est alors remarquable et ceci est particulièrement intéressant pour les couronnes antérieures. Ainsi, les systèmes de C.F.A.O. éliminent les tâches répétitives du prothésiste mais son savoir-faire reste nécessaire pour reproduire et maquiller au mieux les couronnes céramo-céramique.

En ce qui concerne les systèmes de C.F.A.O. dentaire qui usinent les pièces prothétiques en titane ou en alliage métallique précieux ou non précieux, ils nécessitent tous :

Une empreinte traditionnelle et la coulée du maître modèle ; la conception de la couronne virtuelle par ordinateur ; l'usinage par une machine/outils.

Toutes ces étapes sont réalisées au laboratoire par un prothésiste formé pour utiliser ces différents systèmes.

Ces systèmes qui sont de plus en plus sophistiqués nécessitent une formation pour utiliser le scannage, les logiciels de conception et les machine/outils. Tout cela, nous l'avons vu, est de plus en plus compliqué. Nous pouvons difficilement penser qu'un chirurgien-dentiste omnipraticien et dont le rôle est de soigner son patient, soit habilité à être formé dans ce domaine. En effet, l'évolution de la C.F.A.O. dentaire qui est réorienté vers l'empreinte optique en bouche, verra le chirurgien-dentiste réaliser cette empreinte puis transférer au laboratoire de prothèse, directement par Internet, les données recueillies. Puis le prothésiste réalisera la conception, l'usinage et la finition de la pièce prothétique.

Il est évident que l'avènement de la C.F.A.O. dentaire ne va pas faire disparaître le métier de prothésiste. Son travail en prothèse amovible n'est que très peu concerné par la C.F.A.O. dentaire et la fabrication d'une P.A.P. reste de la compétence du prothésiste. En prothèse conjointe, la C.F.A.O. réoriente son travail et crée de nouvelles spécialités. Les prothésistes doivent donc s'adapter à cette nouvelle technologie inévitable. [54-8]

6.3.4. Le cabinet dentaire de demain :

Dans le cabinet de demain coexisteront trois types de périphériques :

- les caméras endo-buccales, qui ressembleront à des pièces à main et qui permettront d'enregistrer rapidement l'ensemble d'une arcade en 3D ;
- un micro-centre d'usinage ou même de prototypage rapide permettant de réaliser des prothèses provisoires, des pièces définitives (inlay/onlay, facette, braket d'O.D.F, coiffe...) des repères particuliers (radiographiques, canaux pour orienter les implants) ou tout petit objet gagnant à être individualisé (micro digues, attelles...) ;
- des périphériques d'information complémentaires à la C.F.A.O. (les spectrocolorimètres, les articulateurs analyseurs et diagnostiqueurs de mouvements, les sondes parodontales, les appareils photos numériques, les caméras numériques...) et de stockage (carte ou puce électronique portant l'empreinte en bouche, toutes les informations nécessaires à la prothèse et la traçabilité en information digitalisée).

Le cabinet de demain :

- sera pourvu d'un système informatique unique, contenant tous les éléments du dossier du patient, auquel seront reliés tous les périphériques nécessaires et communiquant ainsi avec toutes les informations nécessaires. L'appareil photo, caméra et radio numérique, les spectrocolorimètres, les localisateurs d'apex, l'endo mécanisé, la C.F.A.O. dentaire, tous ces éléments seront reliés à une seule et même machine avec leurs protocoles d'utilisation et

Autres procédures directement accessibles sur l'écran opératoire. L'ensemble de ce système permettra une meilleure ergonomie et un exercice harmonieux pour optimiser le résultat des nouvelles technologies.

- Dans les laboratoires de prothèse, existeront des unités informatiques traitant l'empreinte en bouche prise par le chirurgien-dentiste et, éventuellement, pilotant à distance le micro-centre d'usinage situé dans le cabinet dentaire, afin que celui-ci n'ait aucune intervention sur son système, hormis la prise d'empreinte.
- La caméra endo-buccale pourra aussi être utilisée par le prothésiste qui fera ses empreintes sur des modèles en plâtre envoyé par les chirurgiens-dentistes qui ne sont pas équipés de caméra endo-buccales.
- Le laboratoire de prothèse validera avec le chirurgien-dentiste l'empreinte grâce aux vues tridimensionnelles. Ainsi, ils pourront ensemble vérifier et valider une empreinte immédiatement en bouche grâce à cette vue 3D, et la réalisation d'une coiffe de contrôle qui servira aussi de provisoire. Une fois l'empreinte validée, l'info-prothésiste réalisera la maquette virtuelle. En fonction du laboratoire et de la complexité de la pièce à réaliser, la pièce sera usinée :
 - soit par une machine/outils du cabinet dentaire pour les pièces les plus simples (inlays/onlays, couronnes unitaires monochromatiques) ;
 - soit dans le laboratoire de prothèse dentaire ;
 - soit dans des centres de production industriels, spécialisés dans la prothèse Dentaires. [8]

Partie pratique :

Les cas cliniques suivants ont été pris en charge au niveau du service de prothèse de la clinique dentaire de Tizi Ouzou.

Cas clinique n°1 :

Il s'agit de la patiente A.L, âgée de 36 ans, qui consulte pour une réhabilitation prothétique dont le motif est fonctionnel et esthétique.

Le questionnaire médical ne relève aucun problème de santé.

L'examen clinique révèle la première prémolaire inférieure droite qui a été déjà reconstituée.

L'examen des fonctions occlusales et l'examen radiologique ne révèlent aucune pathologie.

La reconstitution était bien faite sans récurrence de carie.

Des photos de la situation initiale sont réalisées

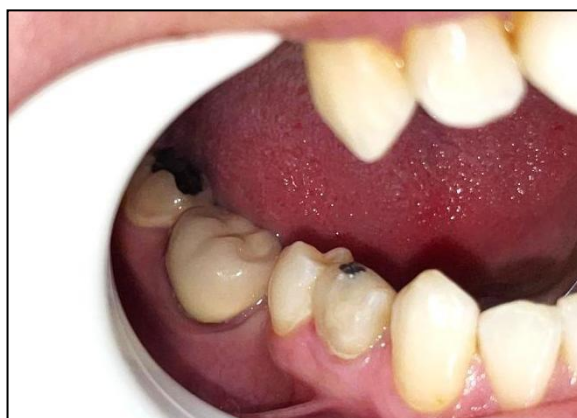


Fig 50 : état initial

La réalisation d'une couronne de la 44 en full zircone a été proposée à la patiente afin de réhabiliter l'esthétique et la fonction.

La Démarche thérapeutique réalisée :



Fig 51 : préparation de la dent

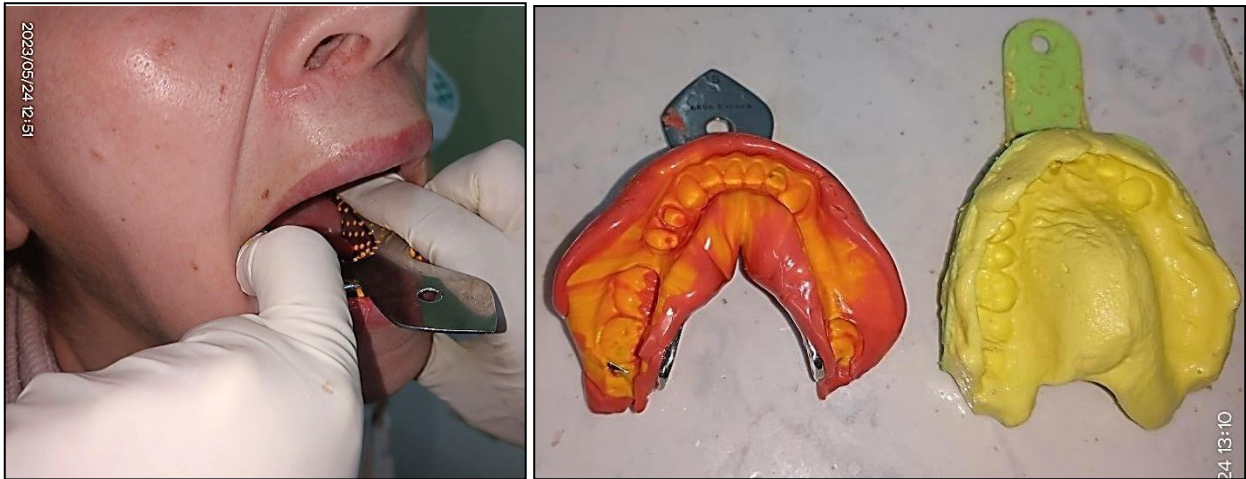


Fig 52 : prise d’empreinte (double mélange pour la mandibule et en alginate pour le maxillaire)

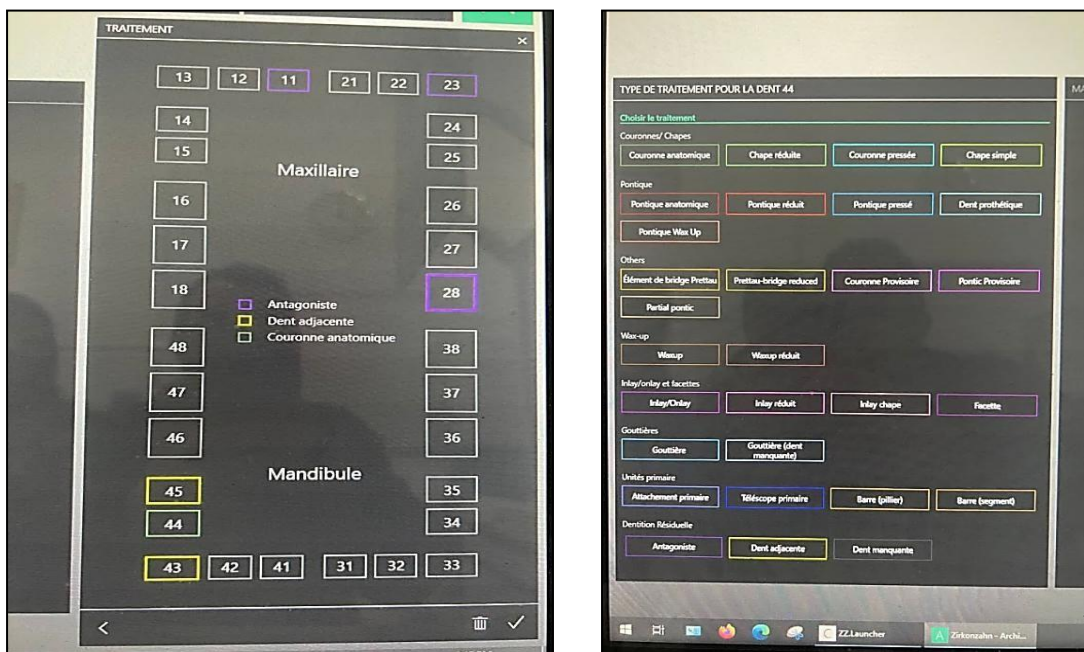


Fig 53 : Saisie des données

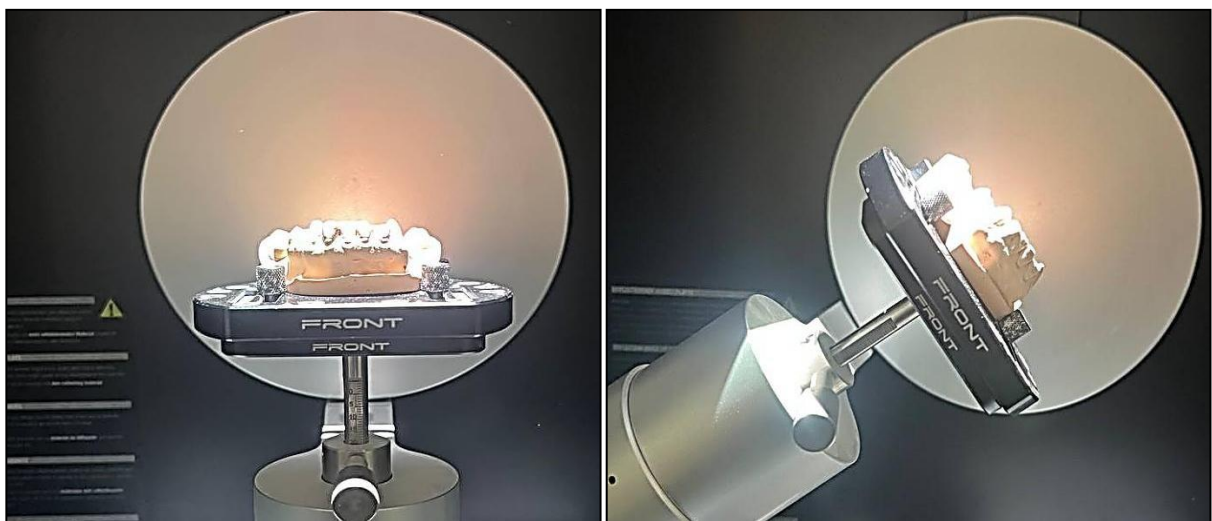


Fig 54 : maître modèle/antagoniste sur scanner

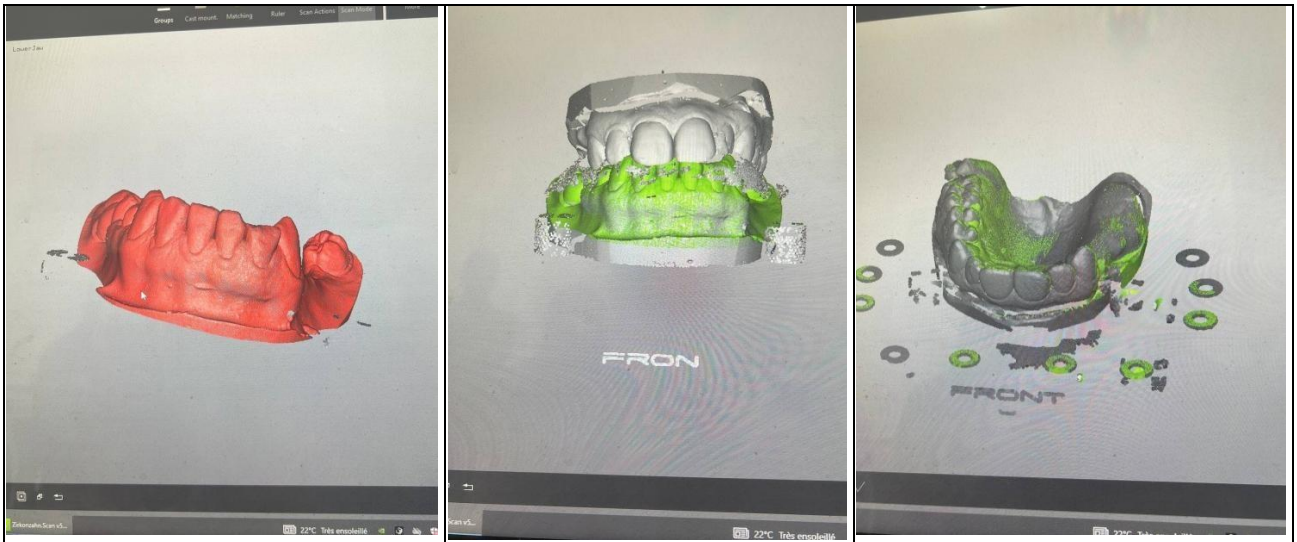


Fig 55 : Etape de scannage avec caméra de prévisualisation

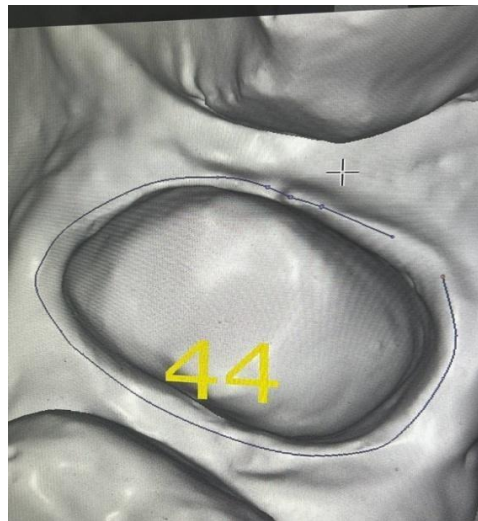


Fig 56 : Tracé de la limite de la préparation sur le modèle virtuel

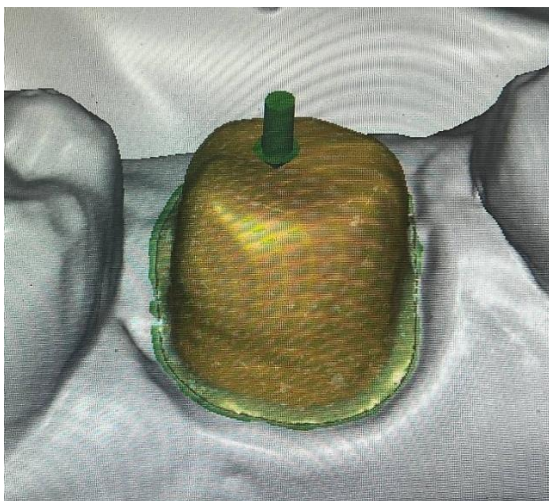


Fig 57 : Choix axe d'insertion

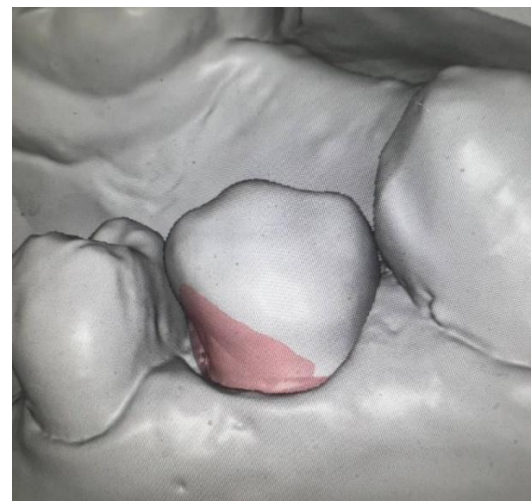


Fig 58 : visualisation contre dépouilles (rouge)



Fig 59 : Déterminations des paramètres lors de la conception

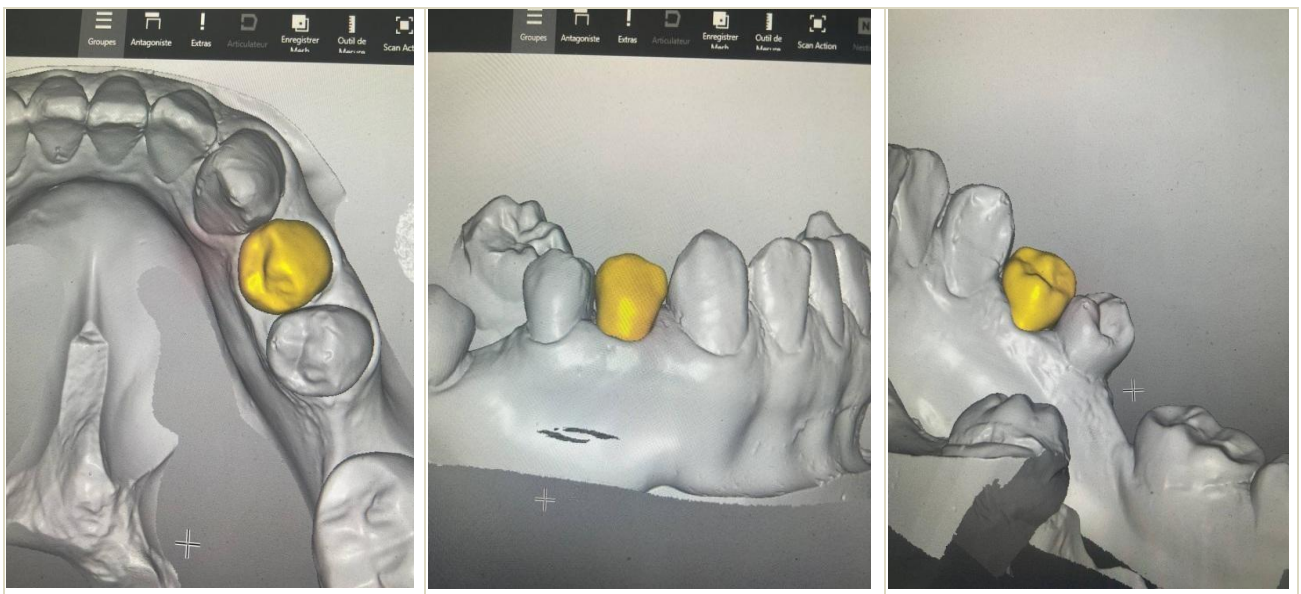


Fig 60 : Proposition automatique (wax-up virtuel)

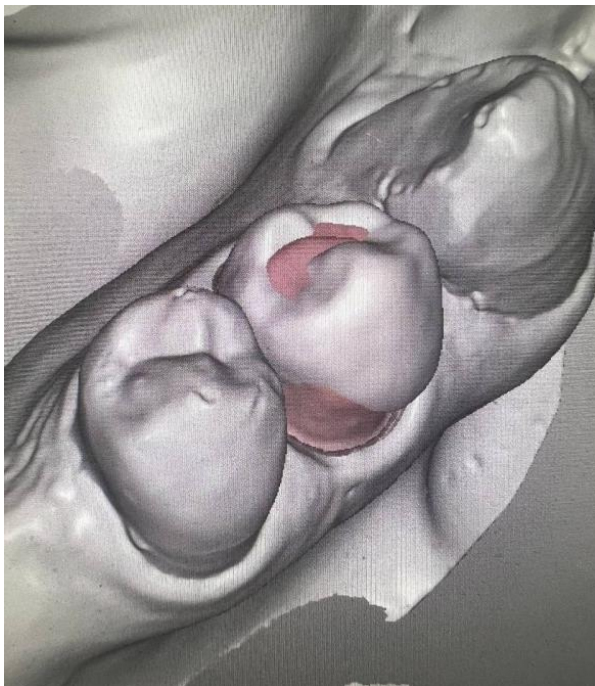


Fig 61 : Gestion des contacts occlusaux.



Fig 62 : Définition du projet, Choix du type de brut et type du matériau

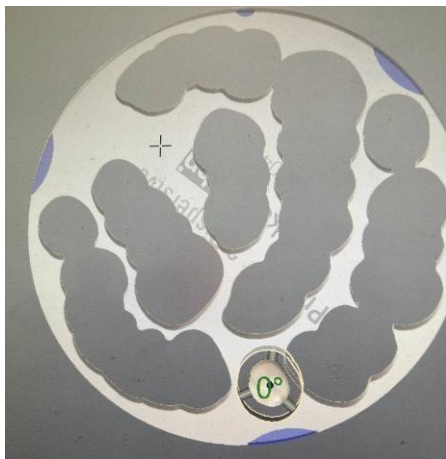


Fig 63 : .Nesting



Fig 64 : Centre d'usinage



Fig 65 : Sintérisation



Fig 66 : maquillage et glassage de la couronne



Fig 67: cuisson apres glassage

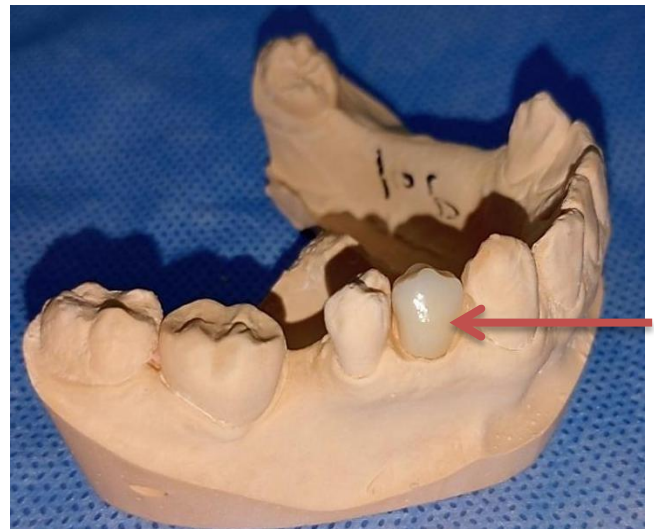


fig 68: couronne sur modele de travail



Fig 69 : résultat final : couronne en full zircone après scellement

Cas Clinique N°2 :

Madame C.L âgée de 33 ans, s'est présentée à notre consultation en vue d'une Réhabilitation prothétique pour un motif esthétique.

- L'anamnèse révèle : un bon état général
- L'analyse esthétique de la situation montre que :
- la ligne du sourire est basse.
- les dents : 11 carié, 21 couronnée, 22 reconstituée
- une vestibulo-version de la 11 12 21 22 visible lorsque la patiente sourit

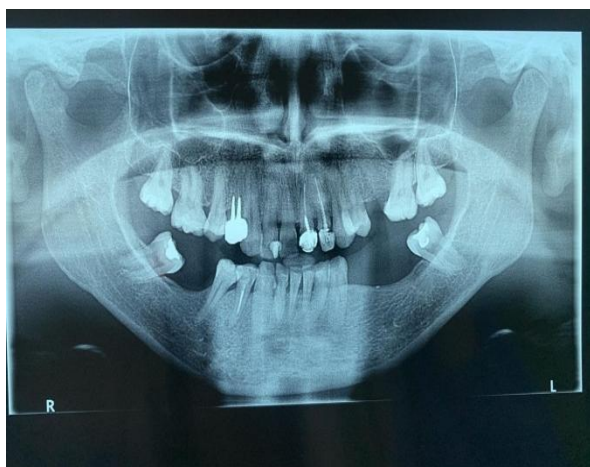


Fig 70 : situation initiale endo-buccale-vue frontale en OIM

*plusieurs choix thérapeutiques ont été proposés à la patiente à savoir des couronnes CCM, le choix s'est porté sur 3 couronnes unitaires en zircone stratifiée vu de son appa.

Plan de traitement :

1. étapes cliniques :

- Traitement endodontique de la 11
- traitement prothétique :
 - accès aux limites cervicales par technique du simple cordonnet,
 - mise en place du fil de rétraction imbibé dans le liquide hémostatique dans le sulcus de proche en proche, tout autour de la dent à préparée



Fig 71 : une préparation coronaire classique est réalisée



Fig 72 : préparation coronaire

Fig 73 : vue frontale en OIM après préparation
Finale de la 11, 21, 22

- prise d'empreinte par le silicone de faible viscosité et haute viscosité pour l'arcade supérieure et l'alginate pour l'inférieure.

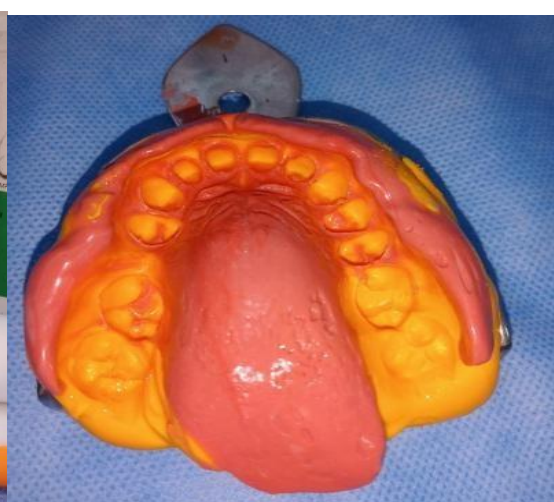


Fig 74 : la prise d'empreinte maxillaire par technique du simple mélange

Partie pratique :

- L'empreinte est envoyée immédiatement au prothésiste pour qu'il puisse commencer la conception et fabrication assistée par ordinateur.

2. étapes laboratoires :

- étapes préparatoire
 - désinfection
 - la coulée conventionnelle de l'antagoniste et du maître modèle.
 - le détourage
- étapes de scannage
 - tout d'abord : la saisie des données, la détermination pour chaque dent le travail demandé, le type de prothèse, et de matériau.
 - modélisation 3D globale de l'arcade supérieure, et même pour l'arcade antagoniste
 - modélisation 3D haute définition va se concentrer sur la zone de travail pour fournir un maximum de détails précis
 - scannage des deux modèles en occlusion



Fig 75 : scanner

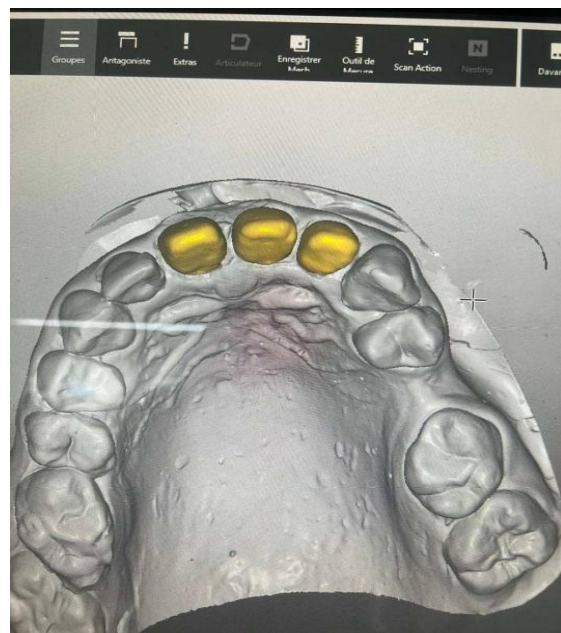


Fig 76 : le scannage

- paramétrage

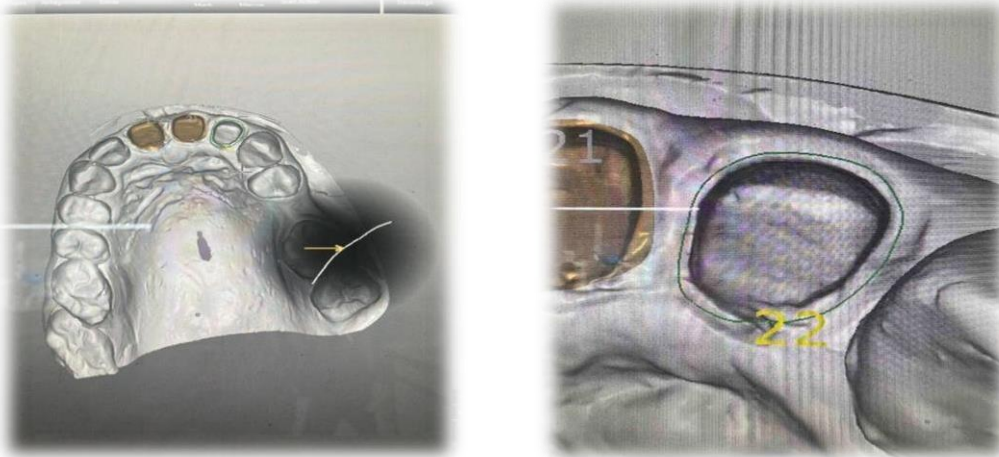


Fig 77 : définition des limites cervicales

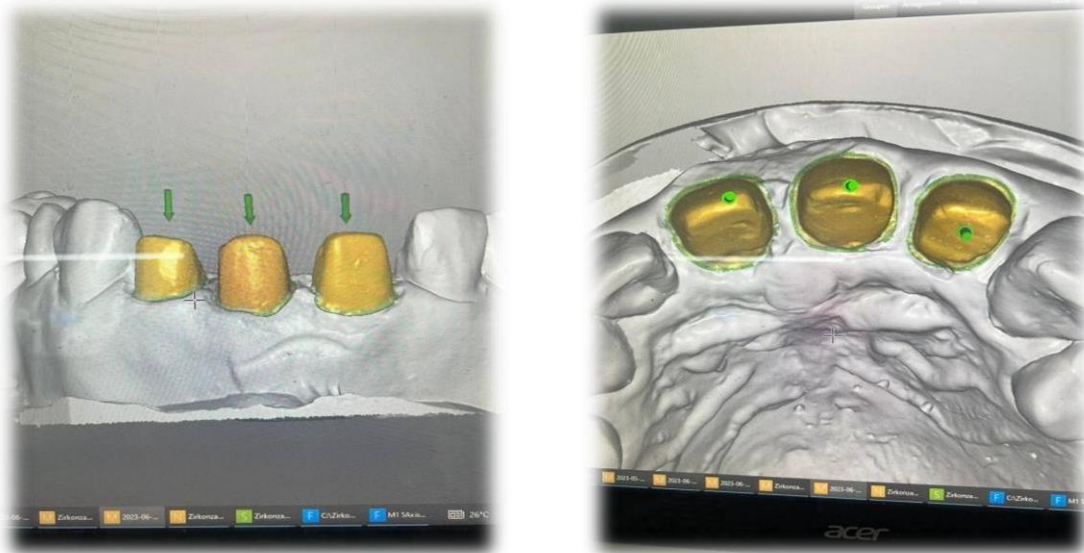


Fig 78 : choisir l'axe d'insertion

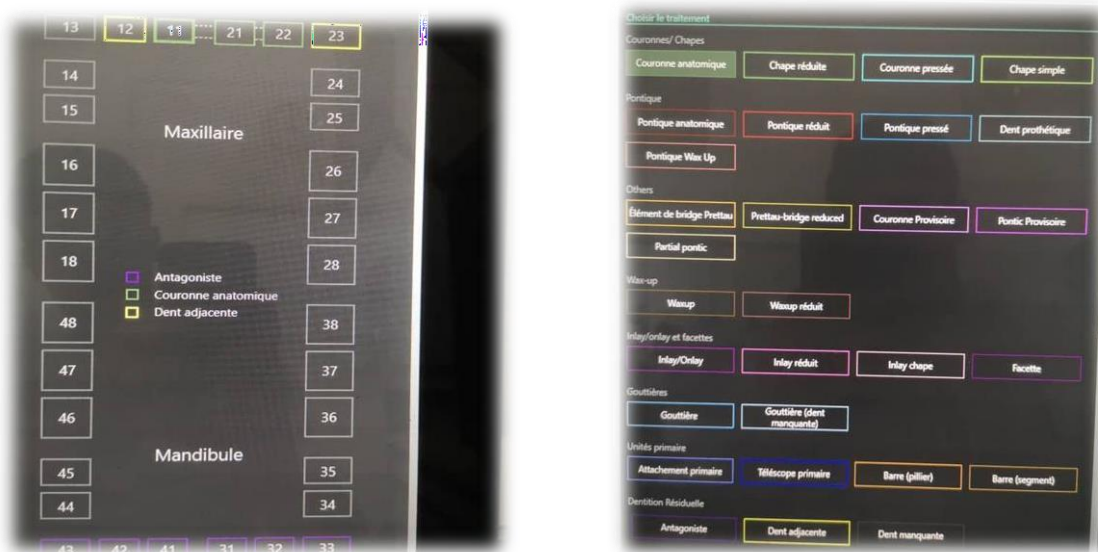


Fig 79 : déterminations des paramètres lors de la conception d'une chape

Partie pratique :

- modélisation
 - Cires virtuelles de diagnostic (wax-up proposé par le logiciel) permettent de visualiser les futures morphologies prothétiques.



Fig 80 : proposition automatique des couronnes



Fig 81 : positionnement des couronnes par Rapport au Plan d'occlusion

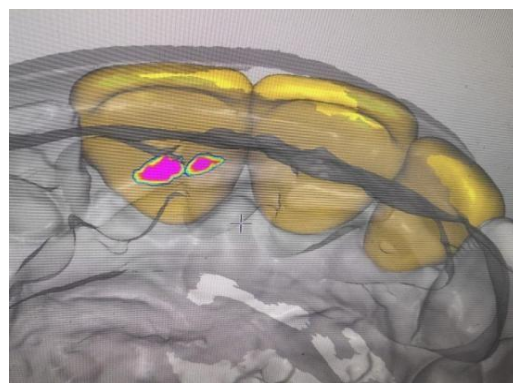
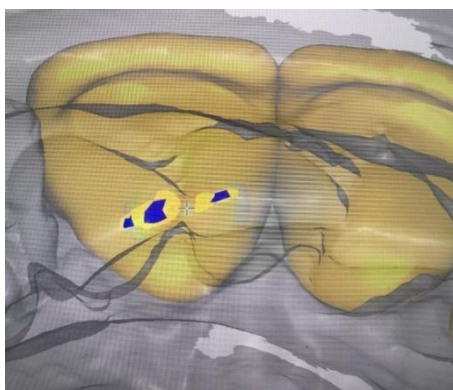


Fig 82 : gestion des contacts occlusaux

- Usinage



Fig 83 : pièces prothétiques usinées



Fig 84. Couronnes usinées en état poreux au sein du Disque (nesting)

Partie pratique :

- Les couronnes sont mises dans un four de sinterisation pendant 12 h.

Cycle complet : montée de température 40° jusqu'à 1900° puis baisse de température de 1900° jusqu'à 40



Fig 85. Sinterisation des 3 couronnes dans le four de sinterisation

- retour à la clinique dentaire, vérification et pose de la prothèse.



Fig 86 : 3 couronnes en full zircon après finition sur modèle de travail



Fig 87 : situation finale après scellement définitif

3eme CAS CLINIQUE

Ce cas clinique -réalisé au CHU NEDIR MOHAMED TIZI OUZOU service de prothèse dentaire par DR MEKKID maître assistante en prothèse dentaire- était celui d'un patient nommé B.M âgé de XX étudiant à l'université UMMTO qui s'est présenté à notre niveau muni d'une orientation de son praticien interne au service d'OC CHU TIZI OUZOU après avoir réalisé le traitement endodontique et estimé que la dent nécessite une restauration fixe .

L'entretien avec le patient a révélé un bon état général.

L'examen exo buccale a mis en évidence une face symétrique et un sourire large.



Figure 88 : état initial

L'examen endo buccale a révélé une hygiène insuffisante / aucune dent absente /5 dents cariées/ 2 obturées

L'examen de la dent en question, a montré une perte tissulaire avancée.

Un tenant fibré et une restauration au composite ont été mise en place par son ancien praticien.



Figure 89 : la restauration au composite

Les options thérapeutiques possibles ont été proposées au patient à savoir une couronne CCM ou une couronne en full Zirconium

Le choix s'est porté sur lafull zircone vu son apparence esthétique et l'absence des inconvénients de la

CCM

La Démarche thérapeutique :

- Une préparation coronaire classique a été réalisée.
- L'accès à la limite a été fait par la technique du simple cordonnet
- La dent est préparée géométriquement avec une fraise à congé diamantée, afin de lui donner une forme compatible avec l'insertion d'une couronne en suivant les étapes de préparation pour zircon



FIG 90 : préparation coronaire

Ensuite une empreinte optique très précise avec une caméra intra orale de chez CARESTREAM la CS 3700 est réalisée à la clinique dentaire MOUDJAHED MERIDJI TIZI OUZOU

La première étape était l'application de l'expasyl qui est un système d'ouverture sulculaire temporaire utilisé lors de la prise d'empreinte conventionnelle ou numérique pour avoir un large champ de travail



FIG 91 : mise en place de l'expasyl

L'acquisition des images 3D par le scanner intra-oral a été faite en mode dynamique (type film) en commençant par l'arcade supérieure, inférieure puis l'occlusion



FIG 92 : prise d’empreinte numérique

Le résultat du scannage est exploitable sur pc en temps réel pour vérifier la fiabilité de l’empreinte

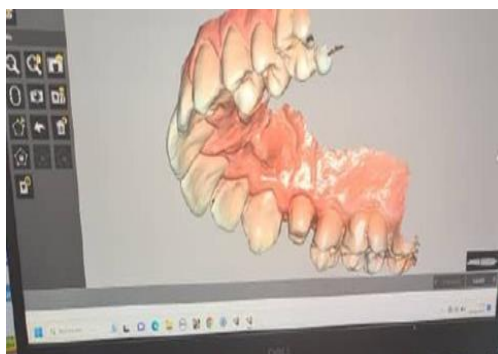
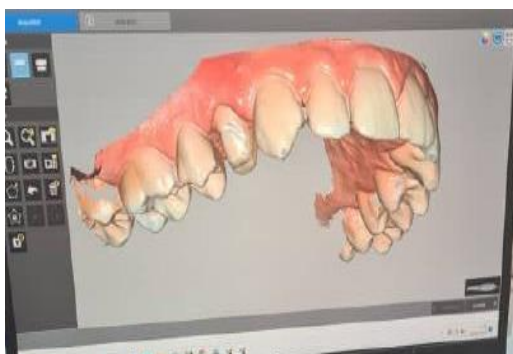


FIG 93 : vérification des donnés

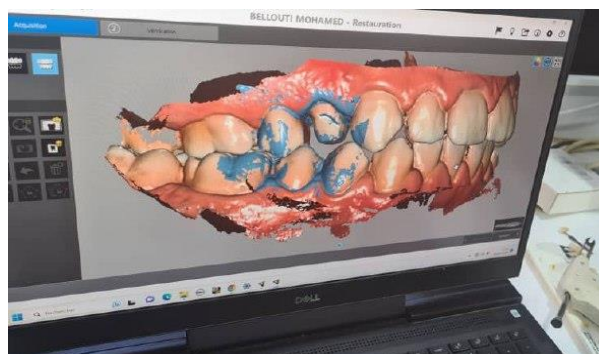


FIG 94 : enregistrement de l’occlusion

Un fichier STL est ensuite envoyé immédiatement au prothésiste pour qu’il puisse commencer la conception et fabrication assistée par ordinateur....



Partie pratique :

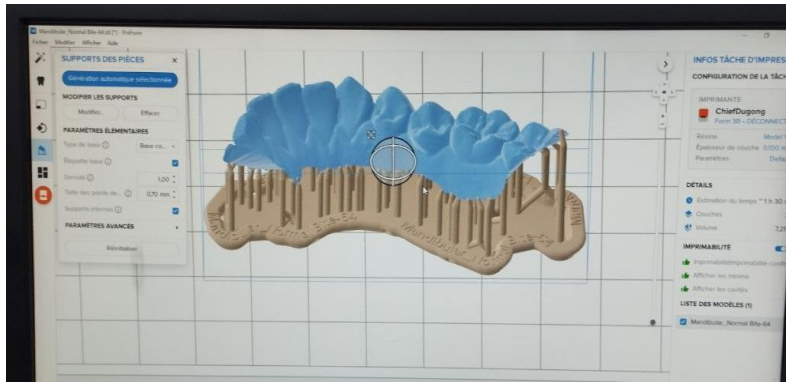


Fig 95 : impression de l’empreinte optique.



Fig 96 : modèles d’étude issue de l’empreinte optique

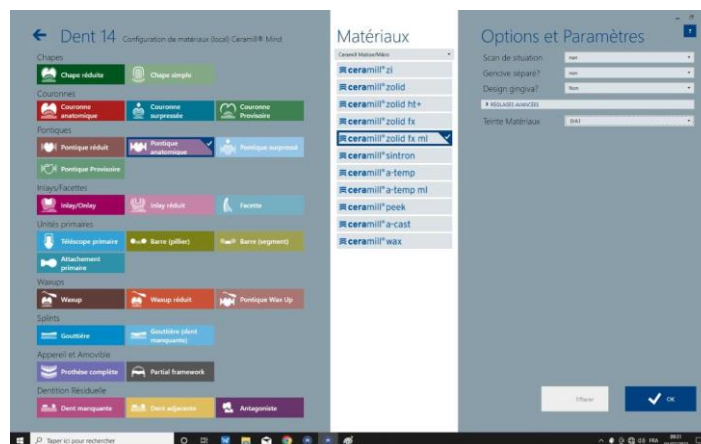


Fig 97 : saisie des données.

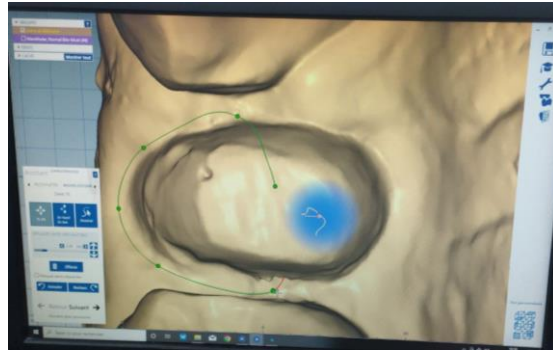


Fig 98 : tracé de la limite cervicale.

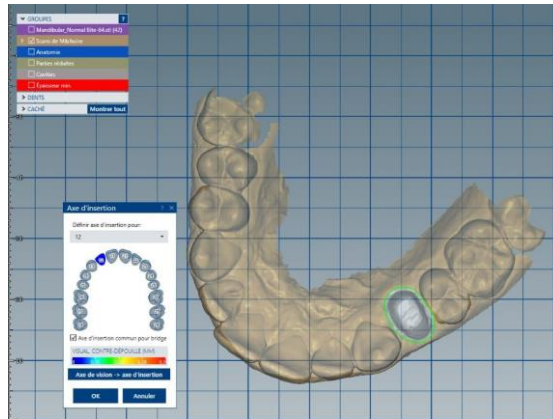


Fig 99 : choix de l'axe de l'insertion.

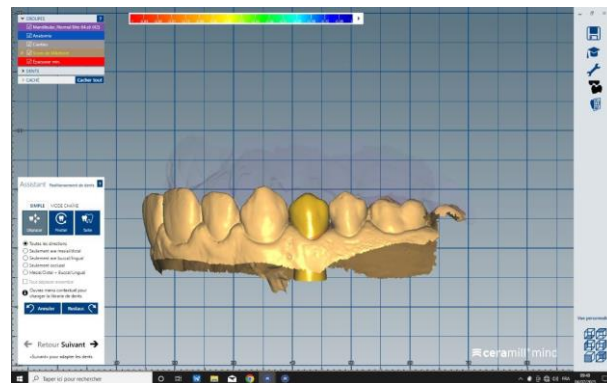


Fig 100 : proposition automatique (waxup virtuel).

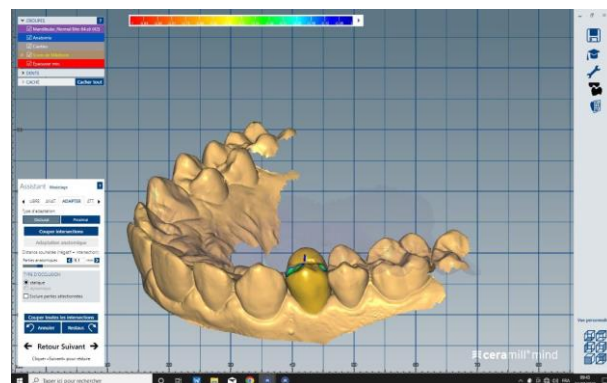


Fig 101 : détermination des paramètres lors de la conception de la chape.



Fig 102 : gestion des contacts occlusaux.

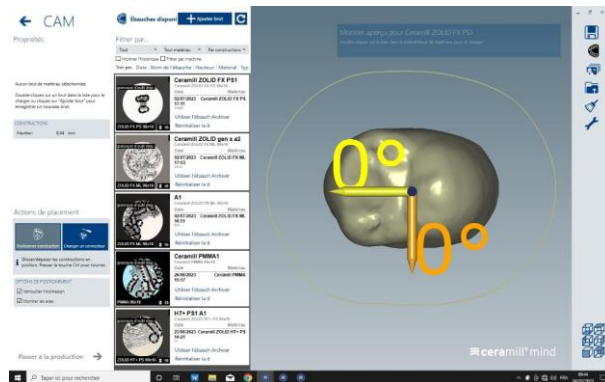


Fig 103 : définition du projet et choix du type du matériau.

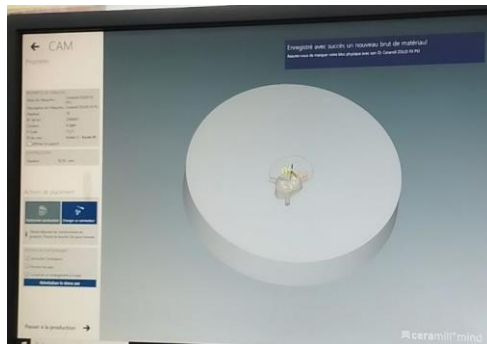


Fig 104 : nesting, centre d'usinage.



Fig 105 : Sintérisation



Fig 106 : maquillage et glassage de la couronne.



Fig 107 : cuisson après maquillage et glassage.

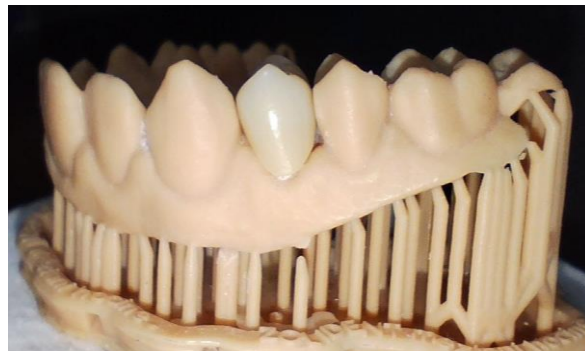


Fig 108 : couronne sur le modèle.



Fig 109 : livraison

Discussion :

D'après notre modeste travail qui s'appuie sur des articles scientifiques ainsi que sur la littérature existante, Nous avons pu constater des nombreux avantages offerts par la CFAO.

En termes de rapidité, d'hygiène et esthétique cette technologie s'est avérée être une solution efficace. Bien que nos cas cliniques aient apporté des résultats prometteurs quant aux bénéfices potentiels de l'utilisation des technologies de CFAO, il convient d'adopter une approche prudente et de considérer d'autres études et preuves pour valider pleinement ces conclusions, nous cherchons à obtenir une vision globale et équilibrée des avantages réels offerts par les technologies de CFAO. C'est pourquoi nous avons consulté une revue systématique récemment publiée sur Cureus en 2023 intitulé "Clinical Outcomes of CAD/CAM (Lithium disilicate and Zirconia) Based and Conventional Full Crowns and Fixed Partial Dentures: A Systematic Review and Meta-Analysis", cette revue examine la performance clinique des restaurations dentaires réalisées à l'aide de la Conception Assistée par Ordinateur et de la Fabrication Assistée par Ordinateur (CAD/CAM) par rapport aux techniques conventionnelles. Les résultats mettent en évidence des résultats similaires en termes de comportement biologique, technique et esthétique (rugosité de surface) bien que des complications esthétiques soient plus fréquentes avec la CFAO (CAD/CAM).

Afin de consolider et de confirmer les résultats de notre étude, il est impératif de mener des essais cliniques randomisés de haute qualité pour déterminer la méthode la plus efficace dans la fabrication des restaurations dentaires. De plus, des études de cohorte prospectives supplémentaires sont nécessaires pour obtenir des données probantes plus solides sur les effets indésirables à long terme de cette technologie. Ces recherches approfondies permettront d'améliorer notre compréhension des avantages et des limitations de la technologie CAD/CAM par rapport aux techniques conventionnelles dans la fabrication des restaurations dentaires.

Dans l'ensemble, la recherche continue et les avancées dans la technologie CFAO sont essentielles pour son évolution et son potentiel de dépasser les techniques conventionnelles dans la fabrication des restaurations dentaires. Cependant, pour prendre des décisions éclairées et fondées sur des données probantes, il est crucial de poursuivre les investigations et de mener des études rigoureuses pour mieux comprendre les avantages et les limites de cette technologie dans le but ultime d'améliorer la santé bucco-dentaire

CONCLUSION

L'avènement de la CFAO a révolutionné le monde de la dentisterie. Cette technologie a ouvert la voie à de nouvelles possibilités thérapeutiques et au développement de nouveaux matériaux.

La CFAO permis d'améliorer les techniques utilisées pour créer des restaurations, offrant la possibilité de traiter tous les matériaux nécessaires à la création de prothèses fixes.

L'amélioration de l'adaptation et de la pérennité des prothèses provient du perfectionnement de l'ajustage cervical amené par l'usinage. Les logiciels offrent une réalité augmentée aux prothésistes garantissant une précision lors de la conception et la finesse des machines-outils achève ce travail.

L'augmentation évidente de la précision, du temps et du confort pour les dentistes et les patients est la raison pour laquelle de plus en plus de dentistes sont encouragés à s'aventurer dans la dentisterie numérique. Lors de l'acquisition d'une chaîne CAD/CAM dentaire, il convient de veiller à ce que l'appareil soit adapté en termes de performances, d'ergonomie et surtout de compatibilité.

L'objectif de la CFAO est de réduire les risques liés au facteur humain. Les empreintes de surface sont donc controversées par rapport aux empreintes optiques, car elles nécessitent de nombreuses étapes intermédiaires (coulée du modèle, détournage, moignon, etc.). La CAO/FAO indirecte est considérée comme une hérésie dans cette chaîne de production numérique. En fait, le traitement des empreintes digitales de surface implique une étape dépendante du facteur humain qui peut introduire une source d'erreur que l'on tente de supprimer numériquement. Cependant, elle est encore nécessaire aujourd'hui dans de nombreux cas de réhabilitation prothétique.

La CFAO a de nombreux problèmes restent à améliorer : gestion du guidage (antérieur, latéral, etc.) qui n'est pas encore possible, précision dans l'élaboration de teintes différentes sur une même dent avec des caractérisations encore impossibles actuellement autres que par maquillage externe, etc. Plus important encore que d'adapter ces technologies de pointe, il faut rappeler qu'elles ont aussi des limites, Ainsi le principe de base ne changera pas : il y aura toujours un appareil de prise d'empreinte, un poste de CAO et une machine-outil à commande numérique, mais le dialogue dentiste prothésiste, ainsi que l'ergonomie de chaque élément, seront améliorés.

Cependant, l'avenir de la CFAO est géré par de grands et puissants groupes industriels qui ont des raisonnements économiques (exemple : la société D4D a mise au point l'E4D, appareil similaire au Cerec, mais commercialisé par le même groupe qui commercialise déjà le Cerec à savoir Sirona et Schein ; ainsi dans un souci de non concurrence, on risque de ne jamais voir cette machine ...).

Après avoir passé en revue tous les moyens mis à notre disposition, on se rend compte que nous ne sommes qu'au début de cette révolution et que la CFAO promet un bel avenir pour notre profession.

Bibliographie :

1. Louis M. Apport pédagogique de la cfao dans l'enseignement de la prothèse fixée. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Nantes, 2018.
2. Khedhiri-Derouich C. La pratique quotidienne de la cfao en cabinet dentaire, volume 1, présentation des matériaux et indications cliniques sur dent naturelle. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université Paris Descartes, 2018.
3. Roques C. La cfao dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire et en laboratoire dans la région midi-pyrénées en 2013, étude épidémiologique. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2014.
4. Orione Y. La numérisation au laboratoire de prothèse. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université de Nantes, 2015.
5. CNIFPD - UNPPD. Le guide de la CFAO dentaire. Article, 2009.
6. Arrighi D. Optimisation des empreintes primaires en prothèse amovible complète par la CFAO. Thèse pour obtenir le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Aix-Marseille Université
7. Clerc S. L'impression 3D en odontologie : partie 2, conception d'une imprimante 3D. Thèse pour le diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université de Lorraine, Faculté d'odontologie, 2016.
8. Durant de La Pastellière M. La prothèse fixée usinée par machine-outil. Thèse : Chir. Dent. Nantes, 2007.
9. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. JProsthodont Res. 2016
10. Owandy Radiology , CFAO Dentaire , France , 2020 , disponible sur www.owandy.fr
11. Descombaz C. Accès aux limites de préparation lors de la numérisation en CFAO dentaire. Thèse : Chir. Dent. Lyon, 2015.
12. Clément-Malau C. CFAO et céramo-céramiques usinables, mise en œuvre clinique. Sciences du Vivant[q-bio]. 2015.
13. Mekaouche H, Kara H, Seghir O, Bousalah K. Le profil d'émergence en prothèse conjointe. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de docteur en médecine dentaire. Faculté de médecine, Tizi Ouzou, 2020
14. Véron A. Les prothèses fixées "tout céramique" sur dents naturelles usinées par CFAO (conception fabrication assistées par ordinateur). Thèse pour le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire. Université Claude Bernard-Lyon I, U.F.R. d'odontologie, 2015.
15. Moussally C. Implantologie assistée par ordinateur : la CFAO au service de l'implantologie. DentalSpace. 2017. Disponible sur : dentalspace.com
16. Coudray L., et al. Les matériaux accessibles par CFAO. Réalités Clinique. 2009
17. Sharkey S. Metal ceramic, versus all ceramic restoration part 1. Journal of the Irish Dental Association. 2010
18. Attal JP., et al. Les matériaux usinables en dentisterie restauratrice et prothèse fixée. Information dentaire. 2014

19. Bernes-Klaine R. La fabrication assistée par ordinateur en prothèse. Thèse de doctorat en chirurgiedentaire. Université Henri Poincare Nancy I. 2013
20. Chotard K. Critères de choix des matériaux à utiliser dans le cadre d'une réhabilitation conjointe enCFAO. Thèse de doctorat de chirurgie dentaire, Université Toulouse III Paul Sabatier. 2013
21. Della Bonna A., et al. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *DentalMaterials*. 2014
22. Fabry J. Intégration de la CFAO directe en cabinet. *Chirurgie*. 2018
23. Manon P. Le "tout-céramique" en CFAO dentaire directe : concepts actuels et critères de choix enprothèse fixée. *Sciences du Vivant* 2017
24. Elkrief M. La CFAO en cabinet dentaire : enquête sur les pratiques et opinions des chirurgiens-dentistes d'Île-de-France en 2017
25. Hosmalin R. Conception, réalisation de prothèse fixée par CFAO indirecte. *Médecine humaine etpathologie*. 2015
26. Guillou C. Les techniques d'accès aux limites cervicales en prothèse fixée : conséquences tissulaireset cliniques. *Chirurgie*. 2017
27. Jones JC, et al. The effect of disinfecting alginate and addition cured silicone rubber impression materials on the physical properties of impressions and resultant casts. *Eur J Prosthodont RestorDent*. 1998
28. Caire T, et al. Pourquoi et comment couler les modèles au cabinet dentaire ? *Stratégie Prothétique*.2004
29. Gardon-Mollard G, et al. L'essayage en prothèse fixée plurale dento-portée. *Stratégie prothétique*.2008
30. Guillaume A. Procédure conjointe. *Les dossiers de technologie dentaire*. 2013
31. Toubol JP, et al. De l'articulaire au neuromusculaire, de la mécanique à l'électronique : le concept deneuro-musculo-compatibilité. *Cah Prothese*. 1989
32. Gartner C, et al. The virtual articulator: development and evaluation. *Int J Comput Dent*. 2003
33. Laplanche O, et al. L'articulateur virtuel. *Demain... c'est tout de suite. Inf Dent*. 2011
34. Koralakunte PR, et al. The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. *J ClinDiagn Res*. 2014
35. Kordass B, et al. The virtual articulator: a new tool to analyze the dysfunction and dysmorphology of dental occlusion. *Aspects of Teratology*. 2000
36. Bisler A, et al. The virtual articulator. *Int J Comput Dent*. 2002
37. Abduo J, Bennamoun M, Tennant M, McGeachie J. Precision of Digital Prosthodontic Planning for Oral Rehabilitation. *Br J Appl Sci Technol*. 2014
38. Abduo J, Lyons K, Swain M. Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *J Oral Rehabil*.2010
39. Bennasar B, Fages M, Margerit J, Iovino N, Mercier M, Cura D. La confection des armaturesmétalliques par CFAO en prothèse fixée. *Strat Prothétique*. 2011

40. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. Br Dent J. 2008
41. Bodenmiller A. Usinage des prothèses par fraiseuse numérique à 5 axes. Strat Prothétique. 2003
42. Bonin F. Dossier CFAO des Dispositif Médicaux Sur Mesure. Inf Dent. 2014
43. Etienne O, Baixe S, Kres P, Taddei C. CFAO et prothèse amovible partielle métallique. Fil Dent. 2012
44. Guillaume J, Benmiloud M. Enquête CAD/CAM. Technol Dent. 2013
45. Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, et al. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. Int J Comput Dent. 2004
46. Unger F. La CFAO dentaire. Strat Prothétique. 2003
47. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in Computer-Aided Manufacturing in Prosthodontics: A Review of the Available Streams. Int J Dent. 2014
48. Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. J Oral Rehabil. 2014
49. Duret F. La grande avancée de la CFAO à l'IDS de Cologne 2011. Fil Dent. 2011
50. Khalil A. Technologies LTCC et stéréolithographie céramique 3D appliquées à la conception de dispositifs millimétriques et submillimétriques. Thèse faculté des sciences et techniques, Limoges, 2010.
51. Miyazaki T, Hotta Y. CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. Aust Dent J. 2011
52. Unger J, Thiry M, Lamaison D. La gestion de l'esthétisme en implantologie à l'aide de pilier anatomique. Inf Dent. 2014
53. Chauvin A. Les facettes céramiques par CFAO en méthode directe et indirecte : indications et protocoles. Thèse pour l'obtention du diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Université de Bordeaux. 2017
54. Roosen A. Apports et limites de la CFAO en PMF. Thèse pour l'obtention du diplôme d'état de docteur en chirurgie dentaire. Aix-Marseille Université. 2021
55. Editions CdP.fr, la référence pour la formation continue du chirurgien, Intérêts des matériaux composites CFAO en prothèse implanto-portée unitaire
56. Lepeltier, Corentin, Intérêt de la CFAO dans la conception et fabrication de reconstitutions coronoradiculaires , 2020.
57. Léa Lotta. Intérêt des techniques CFAO dans la réhabilitation dentaire d'un enfant porteur d'une amélogénèse imparfaite héréditaire. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02413340>
58. O. Landwerlin , revue systématique des scanners intra-oraux , 2017, Les cahiers de prothèse n° 179 disponible sur www.editionsmdp.fr

Résumé :

La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) appliquée à l'art dentaire n'est pas jeune, elle a été présentée par François Duret en 1973. Cette technique de confection prothétique est aujourd'hui à son apogée par sa pratique dans les cabinets dentaires avec les systèmes chair-sides. Cependant l'évolution de cette technologie est passée par l'équipement des laboratoires de prothèse. On distingue trois types de CFAO, la directe où la conception et la fabrication sont faites directement au fauteuil, la semi-directe où seule l'empreinte optique est faite en clinique puis les autres étapes sont menées au laboratoire et l'indirecte où toutes les étapes numériques sont conduites au laboratoire.

La CFAO a permis de gagner en précision et reproductibilité produisant ainsi des prothèses fixées mieux adaptées diminuant la morbidité des dents piliers. De plus elle apporte la possibilité d'utiliser dans nos réhabilitations de nouveaux matériaux comme la zircone, elle permet donc de faciliter

L'utilisation de système céramo-céramique garant d'esthétique et de biocompatibilité.

Les techniques directes et semi-directes ne sont pas accessibles à tous car elles changent les habitudes de travail des praticiens et demandent aujourd'hui encore un gros investissement.

De plus ces techniques ne permettent pas de prendre en charge des cas de réhabilitations complexes. Ce travail décrit les étapes cliniques et laboratoires qui sont conduites afin de pouvoir disposer de la précision de la CFAO dans des cas de réhabilitation en prothèse fixée.



LA
PARTIE
PRATIQUE