UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année : 2015 Thèse : 2015-TOU3-3069

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Clémentine BIE

Le 3 Novembre 2015

L'EMPREINTE OPTIQUE AU CABINET DENTAIRE

Directeur de thèse: Docteur Antoine GALIBOURG

JURY

Président Professeur Serge ARMAND

Assesseur Docteur Rémi ESCLASSAN

Assesseur Docteur Jean-Noël VERGNES

Assesseur Docteur Antoine GALIBOURG



Faculté de Chirurgie Dentaire





DIRECTION

DOYEN

Mr Philippe POMAR

ASSESSEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

CHARGÉS DE MISSION

Mr Karim NASR

Mme Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Anne-Marie GRIMOUD

RESPONSABLE ADMINISTRATIF

Mme Marie-Christine MORICE

→ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

Mr Jean LAGARRIGUE +
Mr Jean-Philippe LODTER
Mr Gérard PALOUDIER
Mr Michel SIXOU
Mr Henri SOULET



Mme Geneviève GRÉGOIRE Mr Gérard PALOUDIER

→ PERSONNEL ENSEIGNANT

56.01 <u>PÉDODONTIE</u>

Chef de la sous-section : Mr VAYSSE

Professeur d'Université : Mme BAILLEUL-FORESTIER, Mr VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme NOIRRIT-ESCLASSAN Assistants : Mme DARIES, Mr MARTY

Chargés d'Enseignement : Mr DOMINÉ

56.02 ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Chef de la sous-section : Mr BARON

Maîtres de Conférences : Mr BARON, Mme LODTER, Mme MARCHAL-SIXOU, Mr ROTENBERG,

Assistants : Mme GABAY-FARUCH, Mme YAN-VERGNES

Assistant Associé Mr TOURÉ

Chargés d'Enseignement : Mme MECHRAOUI, Mr MIQUEL

56.03 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE

Chef de la sous-section : Mr HAMEL

Professeur d'Université : Mme NABET, Mr PALOUDIER, Mr SIXOU

Maître de Conférences : Mr HAMEL, Mr VERGNES

Assistant: Mlle BARON

Chargés d'Enseignement : Mr DURAND, Mr PARAYRE

57.01 PARODONTOLOGIE

Chef de la sous-section : Mr BARTHET

Maîtres de Conférences : Mr BARTHET, Mme DALICIEUX-LAURENCIN

Assistants: Mr MOURGUES, Mme VINEL

Chargés d'Enseignement : Mr CALVO, Mr LAFFORGUE, Mr SANCIER

57.02 CHIRURGIE BUCCALE, PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE, ANESTHÉSIOLOGIE ET RÉANIMATION

Chef de la sous-section : Mr CAMPAN
Professeur d'Université : Mr DURAN

Maîtres de Conférences : Mr CAMPAN, Mr COURTOIS, Mme COUSTY
Assistants : Mme BOULANGER, Mme CROS, Mr EL KESRI
Chargés d'Enseignement : Mr FAUXPOINT, Mr L'HOMME, Mme LABADIE

57.03 <u>SCIENCES BIOLOGIQUES (BIOCHIMIE, IMMUNOLOGIE, HISTOLOGIE, EMBRYOLOGIE.</u>

GÉNÉTIQUE, ANATOMIE PATHOLOGIQUE, BACTÉRIOLOGIE, PHARMACOLOGIE

Chef de la sous-section : Mr KÉMOUN
Professeurs d'Université : Mr KEMOUN

Maîtres de Conférences : Mme GRIMOUD, Mr POULET

Assistants: Mr BARRAGUÉ, Mme DUBOSC, Mme PESUDO, Mme SOUBIELLE

Chargés d'Enseignement : Mr BLASCO-BAQUE, Mr SIGNAT, Mme VALERA

58.01 ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Chef de la sous-section : **Mr GUIGNES**Professeurs d'Université : Mr DIEMER

Maîtres de Conférences : Mr GUIGNES, Mme GURGEL-GEORGELIN, Mme MARET-COMTESSE

Assistants: Mr. ARCAUTE, Mr. BONIN, Mr. BUORO, Me DEDIEU, Me DUEYMES, Mr. MICHETTI

Chargés d'Enseignement : Mr BALGUERIE, Mr ELBEZE, Mr MALLET

58.02 PROTHÈSES (PROTHÈSE CONJOINTE, PROTHÈSE ADJOINTE PARTIELLE, PROTHÈSE COMPLÈTE, PROTHÈSE MAXILLO-FACIALE)

Chef de la sous-section : Mr CHAMPION

Professeurs d'Université: Mr ARMAND, Mr POMAR

Maîtres de Conférences : Mr BLANDIN, Mr CHAMPION, Mr ESCLASSAN, Mme VIGARIOS

Assistants: Mr CHABRERON, Mr GALIBOURG, Mr HOBEILAH, Mr KNAFO, Mme SELVA Chargés d'Enseignement: Mr BOGHANIM, Mr DESTRUHAUT, Mr FLORENTIN, Mr FOLCH, Mr GHRENASSIA,

Mme LACOSTE-FERRE, Mr POGEANT, Mr RAYNALDY, Mr GINESTE

58.03 <u>SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES, OCCLUSODONTIQUES, BIOMATÉRIAUX,</u>

BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Chef de la sous-section :Mme JONIOTProfesseur d'Université :Mme GRÉGOIREMaîtres de Conférences :Mme JONIOT, Mr NASR

Assistants: Mr CANIVET, Mme GARNIER, Mr MONSARRAT

Chargés d'Enseignement : Mr AHMED, Mme BAYLE-DELANNÉE, Mr ETIENNE, Mme MAGNE, Mr TREIL, Mr VERGÉ

L'université Paul Sabatier déclare n'être pas responsable des opinions émises par les candidats. (Délibération en date du 12 Mai 1891).

Mise à jour au 29 septembre 2015^r

Remerciements

A toi **Maman**, tu as toujours été là pour moi. Merci pour ta générosité, ton amour, tes rires et tes sourires. J'admire la femme que tu es, et j'aspire à te rendre fière.

A toi **Papa**, merci pour ta constance, ta philosophie de vie et ton humour qui m'inspirent au quotidien. Je peux compter sur toi en toutes situations. J'espère être à la hauteur de l'amour que tu me portes.

A **vous deux**, qui m'avez menée jusqu'ici avec un soutien sans faille. J'ai trouvé en vous, des valeurs, une maison, de la bonne humeur, des rires et surtout le bonheur d'être ensemble. Vous nous avez fourni le cadre parfait pour une enfance heureuse, insouciante et sereine. Beau travail! Je ne peux imaginer de meilleurs parents que vous et je trouve peu de mots pour vous remercier. Je vous aime.

A toi **Kakin**, je suis heureuse de tous ces bons moments que nous partageons ensemble. On peut dire que tu es un petit frère qui a su rendre sa sœur très très fière de lui! (et ce n'est pas la seule d'ailleurs) Je reste toujours sans voix face au beau jeune homme que tu es devenu, intelligent, fort, entier, curieux, enthousiaste, à l'écoute des autres... En revanche je ne reste jamais sans voix devant cet humour fin et décapant qui te caractérise tant. Je t'aime.

Mamie Annie: merci d'avoir toujours pris soin de moi depuis ma plus tendre enfance

Papy André merci d'être un super grand-père plein d'humour.

Kiki, savoir que tu as toujours une pensée pour moi me permet d'avancer plus sereinement dans la vie

Papy Georges, merci pour tes cours de philo et ton éternelle bonne humeur.

Si j'en suis là aujourd'hui c'est aussi grâce à vous quatre.

A la famille Costes/Guibourdeau : à toi Valérie, ma super tante qui a le cœur sur la main. Merci, tu m'accueilles toujours avec autant de bonne humeur et d'entrain. C'est toujours un plaisir de passer du temps avec toi et ta jolie famille.

A toi **Marine**, ma cousine qui déchire tout ce qu'elle entreprend. Je suis heureuse de te voir plus souvent maintenant que tu es à Toulouse. Je te souhaite tout le bonheur et la réussite du monde que tu mérites largement.

A **Pitou**, mon gros gambas préféré et d'ailleurs le seul fruit de mer que je suis en mesure d'apprécier ! <3 J'aime nos réunions de famille.

A **Yves**, tu es un super parrain qui a tout le temps le sourire. C'est toujours un plaisir pour moi de te retrouver à Vic, Capbreton ou ailleurs, et pour n'importe quelle occasion.

A **Anaïs et Valentine** pour toutes ces vacances passées ensemble, ces crapettes, ces cache-cache, ces baignades, ces ballades et autres pétarades et rigolades. Il me tarde que nous puissions tous nous réunir.

A **Caroline**, ma marraine adorée, tu me suis de près ou de loin depuis que je suis petite, merci. Vous formez une belle famille avec Benoît, Zac et Marius, ne changez rien!

Nicole et Frédéric: Merci à vous deux car vous m'avez toujours accueillie à bras ouverts et c'est toujours un plaisir de partager un moment avec vous. Merci aussi au reste de votre grande famille qui ne m'a jamais témoigné que de la sympathie.

A ma famille agrandie : **Annie et Henri** : on peut dire que vous êtes mes deuxièmes maman et papa. Merci à vous deux ainsi qu'à **Chantal et Patrick** car grâce à vous j'ai passé de très belles après-midi, journées au ski, vacances à la mer...

Ainsi qu'au reste de la tribu sans qui tout ça aurait été beaucoup moins fun : Lousane, ma petite coloc singapourienne, Bibine, la jolie princesse blonde, Marionnette, la conteuse et Vincent, notre grand rugbyman préféré ainsi que les nouveaux Pierrette Pierrette, Orian, Mathieu...

Sans t'oublier évidemment ma **Pelinette**, ma première amie, ma coéquipière, nous avons fait nos premiers pas et nous ne nous sommes plus quittées depuis. Je suis tellement fièrede toi, de la belle jeune femme que tu es aujourd'hui. Tous ces souvenirs, ces rires, ces fous-rires, cette complicité et ces bons moments passés et à venir qui jalonnent notre amitié en ont fait une relation indestructile. Savoir que nous serons toujours là l'une pour l'autre est une chance qui n'a pas de prix. Quel bonheur de t'avoir dans ma vie. Aujourd'hui seuls les kilomètres nous séparent et autant dire que ça ne compte pas beaucoup...

A toi mon **gros papillon**, je suis très heureuse d'avoir fait ta connaissance voilà déjà quelques années (je ne donnerai pas le compte exact). Tu es une personne en or toujours là pour moi et j'espère être digne de cette belle amitié. Merci pour tous ces beaux moments passés ensemble, ces voyages, ces repas, ces fous-rires... J'ai trouvé en toi une véritable amie que je compte bien garder toute ma vie.

A notre petit groupe de Thaïlande : **Capou** : j'ai été très heureuse d'être ta petite coloc cette année. Tu es une fille en or, avec une énergie incroyable et un grand cœur.

Bombers : tu es clairement sur une autre planète mais j'ai pu constater au fil des années que tu sais en descendre quand il le faut. Difficile de te décrire avec des mots de langue française, à part dire que tu es une fille en or.

Diane : j'ai appris à te connaître ces dernières années et j'ai découvert une belle jeune femme, sensible, curieuse, généreuse, intéressante... Bref, une fille en or.

Je vous aime mes petites golden girls.

A toi **Minou**: merci pour ta bonne humeur, nos délires et tes « ralages » qui me font bien rire. Je suis heureuse de pouvoir te retrouver.

Et évidemment, à vous aussi **Marine**, **Margot**, **Caro** et **Popo** : j'vous kiffe les girls et j'adore notre petit groupe de meufs.

A toi **Crocroch**: merci mon petit binôme adoré d'avoir su embellir avec ta bonne humeur et ton sourire tous ces moment passés en clinique et ailleurs. Tu sais me faire rire en toute occasion. Cœurcœur

A mes copains du lycée que je n'ai pas quittés depuis :

Victor et nos longues discussions plus ou moins constructives, Labé et ta tournure d'esprit qui me fait souvent rire. Je suis contente d'avoir débuté cette aventure (dont le présent ouvrage clôt d'ailleurs le chapitre) avec vous.

Kinette, tu es un ami attentionné et toujours à l'écoute, **Romain**, tu es un sacré compagnon de journée et de soirée avec qui on ne s'ennuie jamais.

Nous nous connaissons depuis longtemps et c'est toujours un plaisir de vous retrouver les gars.

A **Audrey** et **Amélie**: Je vous souhaite tout le bonheur du monde et toute la réussite pour vos grands projets !! Les instants partagés avec vous sont toujours de bons moments. Merci pour tous ces beaux souvenirs que nous nous sommes forgés au fil des années les filles.

A Jean, Micha, Pierre, Thibault, Pico Px, Boy, Papou, Camille, Jachon, Morgane, Jeffouze... et d'autres que j'oublie surement. Votre présence a rendu ces années indélébiles, festives et incroyables!

A **Géraud**, merci de m'avoir ouvert les portes de ton beau cabinet. Tu m'as permis de faire mes premiers pas dans la dentisterie. Une grand merci également à **Josette** et **Sylvie** qui ont su m'accueillir à bras ouverts et rendre le travail au cabinet bien plus agréable.

A **Patrice**, j'ai beaucoup aimé faire ce stage dans ton cabinet. Un grand merci à toi pour ces projets futurs ainsi qu'à **Séverine** et **Olga**. Vous formez une belle équipe!

Enfin, à toi Julien, merci pour ton soutien et ta présence à mes côtés. Tu embellis mon quotidien, tu embellis ma vie. Merci pour tous ces rires, ton enthousiasme et ta bonne humeur constante. Je t'aime.

A notre président de jury de thèse,

Monsieur le Professeur ARMAND Serge

- -Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- -Docteur en Chirurgie Dentaire,
- -Docteur en Sciences Odontologiques,
- -Docteur d'Etat en Odontologie,
- -Responsable du Diplôme d'Université d'Implantologie,
- -Lauréat de l'Université Paul Sabatier,

Vous nous faites le très grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Nous nous souviendrons de la qualité de votre enseignement et de votre travail. Veuillez trouver dans cet exposé le témoignage de toute notre admiration et notre profond respect pour votre enseignement.

A notre jury de thèse,

Monsieur le docteur ESCLASSAN Rémi

- -Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- -Docteur en Chirurgie Dentaire,
- -Docteur de l'Université de Toulouse (Anthropobiologie),
- -D.E.A. d'Anthropobiologie
- -Ancien Interne des Hôpitaux,
- -Chargé de cours aux Facultés de Médecine de Toulouse-Purpan, Toulouse-Rangueil et Pharmacie (L1),
- -Enseignant-chercheur au Laboratoire d'Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse (AMIS UMR 5288 CNRS,
 - -Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

Nous vous remercions très chaleureusement d'avoir accepté de participer à notre jury de thèse. Nous nous souviendrons longtemps de votre bonne humeur et de votre gentillesse auprès de nous. Veuillez trouver ici le témoignage de notre plus grande gratitude.

A notre jury de thèse,

VERGNES Jean-Noël

- -Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- -Docteur en Epidémiologie,
- -Docteur en Chirurgie Dentaire,
- -Professeur associé, Oral Health and Society Division, Université McGill Montréal, Québec Canada,
 - -Maîtrise de Sciences Biologiques et Médicales,
 - -Master2 Recherche Epidémiologie clinique,
 - -Diplôme d'Université de Recherche Clinique Odontologique,
 - -Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous sommes reconnaissants d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse. Nous avons toujours apprécié vos qualités professionnelles ainsi que vos conseils avisés. Soyez assuré de notre profond respect. A notre directeur de thèse.

Monsieur le docteur GALIBOURG Antoine

- -Assistant hospitalo-universitaire d'Odontologie,
- -Docteur en Chirurgie Dentaire,
- -Master 1 : Biosanté,
- -Ingénieur de l'Institut Catholique des Arts et Métiers,
- -Diplôme d'Université d'Imagerie 3D

Nous sommes très sensibles à l'honneur que vous nous avez fait d'avoir accepté de diriger ce travail. Nous vous remercions pour votre implication, vos conseils, votre disponibilité et votre bienveillance à notre égard. Nous vous prions de trouver ici l'expression de notre sincère gratitude.

Table des matières

| Table des r | able des matièresntroduction | |
|--------------|--|----|
| Introduction | n | 14 |
| I. Proce | essus prothétiques numériques | 15 |
| I.1. CF | AO | 15 |
| I.1.1. | Définition | 15 |
| I.1.2. | Conception Assistée par Ordinateur | 15 |
| I.1.3. | Fabrication Assistée par Ordinateur | 17 |
| I.1.4. | Production esthétique et CFAO | 25 |
| I.2. Cha | aînes de réalisation prothétique | 25 |
| II. L'emp | preinte optique | 30 |
| II.1. F | Fonctionnement d'une caméra | 30 |
| II.1.1. | Capteur CCD ou c-MOS | 31 |
| II.1.2. | Techniques d'acquisition | 32 |
| II.1.3. | Poudrage ou non | 38 |
| II.2. C | Caméras | 40 |
| II.3. L | .a prise d'empreinte optique | 41 |
| II.3.1. | Limites | 41 |
| II.3.2. | Qualité-précision | 41 |
| II.3.3. | Enregistrement de l'occlusion : | 46 |
| II.3.4. | Le cas particulier des inlays-core : | 47 |
| II.3.5. | Prothèse amovible | 47 |
| III. Enqu | ête sur l'utilisation de l'empreinte optique au cabinet dentaire | 49 |
| III.1.1. | Introduction | 49 |
| III.2. N | Natériel et méthode | 49 |
| III.2.1. | Questionnaire | 49 |
| III.2.2. | Diffusion de questionnaire | 50 |
| III.3. F | Résultats | 51 |
| III.3.1. | Informations générales | 51 |
| III.3.2. | Prise en main | 53 |
| III.3.3. | Temps d'utilisation | 55 |
| III.3.4. | Pratique prothétique | 55 |
| III.3.5. | Nouvelles pratiques | 58 |
| III.4. D | Discussion | 64 |

| III.5. | Conclusion de l'enquête | 67 |
|-----------|-------------------------|----|
| Conclus | ion | 68 |
| Bibliogra | aphie | 70 |
| Table de | es illustrations | 76 |
| Tableau | x | 78 |
| Annexes | S | 79 |

Introduction

Après la révolution industrielle, les XXème et XXIème siècles ont été les témoins de la révolution numérique.

C'est dans l'entre-deux guerre que l'on peut trouver les origines des premiers ordinateurs, puisque c'est durant cette période que les premières calculatrices électroniques voient le jour.

Au cours de la deuxième guerre mondiale de nombreuses avancées sont faites dans le domaine, et c'est dans l'immédiat après-guerre que l'on a découvert l'existence des premiers ordinateurs avec leur entrée dans le monde industriel et universitaire.(1)

Aujourd'hui l'ordinateur et ses déclinaisons ont envahi nos vies quotidiennes. Il en est de même dans le domaine de la dentisterie. Le numérique a fait son apparition dans les cabinets dentaires avec les premiers logiciels de gestion qui ont permis de gérer informatiquement les dossiers patients, l'emploi du temps, la comptabilité... Puis la radiographie numérique est arrivée, permettant notamment d'accélérer et de faciliter les procédures diagnostiques.

Grâce aux évolutions constantes et rapides du domaine informatique on peut aujourd'hui gérer numériquement les processus de réalisations des prothèses. Le premier maillon de ces chaînes passe par l'enregistrement des reliefs buccodentaires. Cet enregistrement peut notamment se réaliser numériquement directement en bouche grâce à un scanner intra-oral ou caméra optique afin de maintenir un flux numérique.

Cette thèse cherche à faire le point sur l'état de cette technologie et à en mesurer les changements que cela engendre sur la pratique quotidienne des praticiens français qui l'ont adoptée.

Pour cela nous explorerons dans un premier temps les processus de conception et de fabrication numériques des pièces prothétiques.

Puis nous nous intéresserons au premier maillon de ces chaînes numériques : l'enregistrement numérique des informations des reliefs bucco-dentaires au cabinet grâce à **l'empreinte optique**.

Enfin nous terminerons par une enquête menée auprès des praticiens possédant une caméra optique afin de mesurer la perception des praticiens et l'usage engendré par cette technologie.

I. Processus prothétiques numériques

I.1. CFAO

I.1.1. Définition

La CFAO a vu le jour dans les années 50 au sein de l'US Air Force, mais c'est dans les années 70 qu'elle s'est majoritairement développée dans le domaine civil, en particulier dans l'aéronautique et l'automobile, avec l'apparition des premières machines-outils à commandes numériques.(2) Elle fait le lien entre la conception et la fabrication de l'objet, cela entraîne le maintien de la chaîne numérique du début à la fin de la réalisation. C'est dans les années 80 qu'elle fait son apparition dans le domaine de la dentisterie.(3)

Le terme CFAO est l'acronyme de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur.

En anglais on parle de CAD/CAM pour Computer Aided-Design/Computer Aided-Manufactured.

I.1.2. Conception Assistée par Ordinateur

La CFAO permet aujourd'hui la modélisation des prothèses à l'aide de logiciels plus ou moins intuitifs.

Ces logiciels permettent la conception et la visualisation virtuelle de la pièce prothétique avant sa fabrication. Le praticien ou le prothésiste qui conçoit la pièce prothétique peut donc modeler, selon les capacités du logiciel, la restauration prothétique. Ainsi le réglage de l'occlusion, des points de contacts ou de l'axe d'insertion entre autres peuvent être réalisés virtuellement. Dans la Figure 1 nous pouvons voir le réglage virtuel d'une cuspide de la future restauration. Les zones en bleu et vert représentent les contacts avec les dents adjacentes et antagonistes selon un gradient de force.

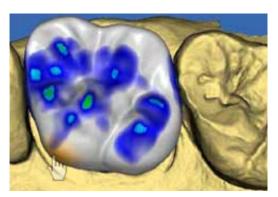


Figure 1 Capture d'écran d'une étape de conception du logiciel CEREC

De nombreux logiciels existent et proposent des outils numériques différents.

A titre d'exemple le logiciel du système CEREC propose un outil « variation biogénérique » qui permet de concevoir une couronne à partir des données anatomiques des dents adjacentes.(4)

Les informations de la prothèse sont ensuite transmises à une machine-outil pour la fabrication.

Cela nécessite de disposer des informations des reliefs bucco-dentaires dans un format numérique. L'acquisition de ces informations se fait soit directement en bouche grâce à une **caméra optique**, soit à partir du modèle en plâtre scanné chez le prothésiste avec un scanner extra-buccal, afin d'obtenir un modèle de travail virtuel. Ces données sont transmises au logiciel de CAO (pour Conception Assistée par Ordinateur) et enfin à la machine-outil de FAO (pour Fabrication Assistée par Ordinateur) (Figure 2).

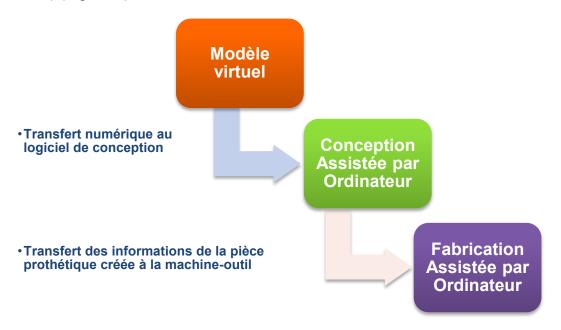


Figure 2 Processus de CFAO

Le format numérique universel de ces données, qui permet de les échanger, est le format STL pour <u>Stéréolitographie</u> (5) ou selon les auteurs <u>Surface Tessellation</u> <u>Language</u>(6). Tessellation est un terme mathématique qui caractérise le découpage d'un espace en éléments réguliers.(7)

Cependant, certains systèmes ne permettent pas ou partiellement, l'échange universel de ces données. On parle de système fermé ou semi-ouvert. C'est le cas du système CEREC par exemple, qui ne permet ni la conception, ni la fabrication de ses prothèses par un autre système que celui mis en place par Sirona ou qui demande l'acquisition d'un logiciel supplémentaire, Sirona Connect, afin de transférer les données dans un format STL. C'est donc un système semi-ouvert qui limite le transfert des données.

Nous avons vu que la CFAO s'est développée avec l'apparition des premières machines-outils. Il convient donc de comprendre les processus de fabrication de ces machines-outils, afin d'en connaître les applications dans le domaine de la prothèse dentaire et leurs limites.

I.1.3. Fabrication Assistée par Ordinateur

Les processus de CFAO, visent à automatiser et diminuer les temps de production des pièces prothétiques. De plus, réduire le nombre d'étapes de production permet potentiellement de diminuer des sources d'erreurs et donc d'avoir un résultat plus fiable(8). En effet, ces processus peuvent permettre d'éviter le recours à la technique de cire perdue et à d'autres techniques conventionnelles qui nécessitent de nombreuses étapes et interventions humaines susceptibles d'engendrer des déformations, expansion ou rétraction des matériaux. De plus, ces méthodes classiques sont très dépendantes de l'expérience du prothésiste et de ses protocoles de fabrication. Ainsi ce processus vise à réduire l'imprécision à chaque étape de fabrication.(9)

C'est l'arrivée de machines-outils œuvrant avec une précision minimale de 20 à 50µm qui autorise la FAO. Ainsi la chaîne numérique simplifie la chaîne de fabrication de la prothèse grâce à différentes méthodes de fabrication : (5,10)

a. Méthodes soustractives :

Usinage :

C'est une technique qui utilise un bloc de matériau qu'elle met en forme par soustraction. Pour cela, la machine-outil dispose de « bras » ou « axes » sur lesquels sont fixées des fraises qui permettront de modeler la pièce par abrasion. Un des intérêts de cette méthode de fabrication est qu'on ne génère pas de changement d'état sur le matériau travaillé. L'objet final aura été conçu dans des conditions

limitant les défauts (bulles, inhomogénéités...). Ainsi, on obtient des pièces prothétiques homogènes.

On notera tout de même que pour Schaeffer (11), l'usinage est une technique abrasive pouvant être à l'origine de micro-cracks ou fêlures qui semblent ne pas altérer les propriétés mécaniques des matériaux usinés si certains critères sont respectés, tels que, entre autres, une vitesse de rotation adaptée, un refroidissement du matériau.(9)

Ces machines sont souvent caractérisées par le nombre d'« axes » (de bras) dont elles disposent : 3, 4 ou 5 axes en prothèse dentaire. Plus elles ont d'axes, plus elles permettent d'obtenir une pièce complexe et précise. Cependant, il semblerait qu'en prothèse dentaire le nombre d'axes n'ait pas d'influence sur la qualité de la prothèse, du fait des anatomies et reliefs communément réalisés. En revanche l'augmentation du nombre d'axes permet l'utilisation d'un plus grand nombre de fraises de différents diamètres et donc un gain de temps au niveau de la mise en forme de la prothèse.(9)

Ces usineuses permettent de travailler les métaux, céramiques, résines et cires utilisés en prothèse dentaire. On distingue deux formes d'usinage : le « soft machining » pour des matériaux peu durs tels que la résine ou la cire et le « hard machining » pour des matériaux durs tels que la zircone ou le métal.(9)

C'est une « technique de fabrication qui permet la mise en forme de tous les composants mécaniques des prothèses dentaires fixes et hybrides. Destiné au départ à la fabrication de prothèses céramo-céramiques, l'usinage demeure le seul moyen efficace à ce jour pour fabriquer des pièces en alumine, zircone et céramique. (...) L'usinage est le moyen de fabrication qui offre la plus grande précision, ce qui en fait la technique la plus appropriée à la fabrication de composants pour les superstructures sur implants qui exigent une excellente passivité. »(5)

Selon Abduo et al.(9), il semble en effet que l'usinage des pièces prothétiques implantaires soit une technique qui permette une très bonne adaptation; supérieure à celle des prothèses réalisées avec la méthode conventionnelle de cire perdue.(12) Il en est de même avec la passivité de ces éléments qui semble être meilleure lorsqu'ils sont usinés que lorsqu'ils sont produits à partir de méthodes conventionnelles.(13)

Tandis que pour Örtorp et al.(14), la production de chapes pour bridges dentoportés de 3 éléments en cobalt-chrome usiné présente une moins bonne adaptation que pour des chapes réalisées avec une technique conventionnelle. Il a aussi trouvé que les déformations étaient plus importantes pour les chapes directement usinées dans le métal que pour celles produites à partir de cire usinée. Ces dernières présenteraient même une meilleure adaptation que les chapes réalisées avec une méthode conventionnelle. Cependant, il ne donne aucune information sur la machine-outil qui a servi à l'usinage du cobalt-chrome. Ainsi la qualité de la technique d'usinage réalisée n'est pas connue. De ce fait il est difficile d'attribuer un grand crédit à sa conclusion en ce qui concerne les techniques d'usinage.

Néanmoins une explication de ses conclusions peut se trouver dans les différences que l'on constate entre le « hard-machining » et le « soft-machining » :

Dans le cas de « hard-machining » du fait de la dureté du matériau travaillé, des vibrations importantes peuvent survenir au sein de la pièce prothétique et des fraises lors de l'usinage.(9)

En effet, on constate une usure plus rapide des fraises d'usinage avec des matériaux durs. Dans la Figure 3, on note que l'usure d'une fraise peut entraîner une sous-préparation des pièces prothétiques, notamment au niveau de l'intrados et donc un défaut d'adaptation.

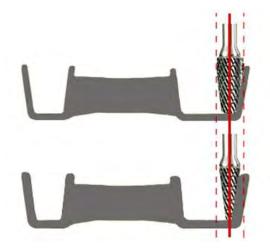


Figure 3 Une fraise usée peut engendrer un défaut de préparation au niveau de l'intrados de la prothèse (13)

Comme le suggère la Figure 4 la réalisation de certains reliefs n'est parfois pas accessible à la plus petite fraise de la machine-outil (pour le système CEREC c'est 1 mm de diamètre) et peut donc être source d'erreurs. Si l'on souhaite utiliser une fraise de diamètre inférieur il faut que le logiciel soit capable de compenser la position de l'axe; on parle de « drill compensation »(14).

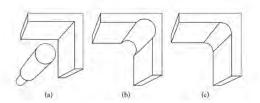


Figure 4 Lorsque les angles sont trop vifs pour le diamètre de la fraise deux types d'erreurs peuvent se produire; des erreurs négatives avec un usinage trop important de l'angle (b) ou des erreurs positives avec une sous préparation (c)(8)

Dans la Figure 5, on peut voir que dans le cas d'angles trop vifs l'adaptation de la prothèse produite par usinage sera mauvaise du fait d'un diamètre de fraise trop important. Le praticien doit donc adapter ses préparations à la technique d'usinage.



Figure 5 Image CEREC

Ainsi nous pouvons conclure que dans le cadre de l'usinage il est important de veiller sur l'état des fraises et de les remplacer avant qu'elles ne soient trop usées. De même un relief trop complexe de la prothèse est source d'erreurs de fabrication. Pour Abduo et al.(9) c'est précisément ce qui explique pourquoi on a une si bonne adaptation des prothèses implantaires (que ce soit pour des pièces en métal ou céramique) et non pour les prothèses dento-portées. En effet le relief de leurs intrados est simple et facilement reproductible. Ce n'est pas le cas des prothèses dento-portées qui souffrent d'un relief plus torturé.

b. Méthodes additives :

Ces techniques reposent sur un concept de construction verticale par couches successives.

Impression 3D

Par injections successives à l'aide ou non d'un faisceau laser, elle modèle par addition, la prothèse. On peut imprimer de nombreux matériaux : cires, résines ou encore céramiques.(9)

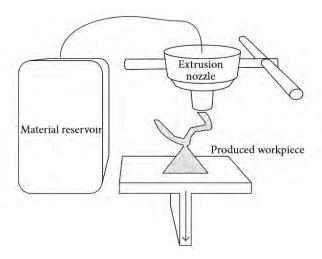


Figure 6 Impression 3D

Dans la Figure 6, on peut voir que c'est le mouvement du bec qui crée le relief par strates successives par un mouvement horizontal.

Bien que ces imprimantes présentent une précision acceptable, elles sont peu utilisées pour des prothèses en céramique car lors du processus de fabrication il peut y avoir la formation de pores qui diminuent significativement la résistance à la fracture du matériau et donc de la prothèse.(9)

Impression 3D par stéréolithographie :

Le modelage se fait par polymérisation de strates successives de résine liquide (Figure 6). Elle permet l'utilisation de différents types de résine.(5) Elle est indiquée dans la production de guides implantaires ou de modèles.(9)

Selon Patzelt et al. cette méthode donne de meilleurs résultats au niveau de la production de modèles que l'usinage.(15)

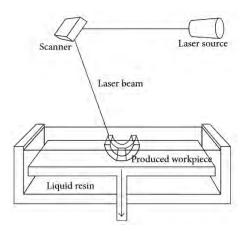


Figure 7 Le faisceau laser polymérise les différentes strates de résine liquide

Micro-fusion

« La micro-fusion sur lit de poudre consiste à déposer sur une plaque support un lit de poudre d'épaisseur de quelques dizaines de micromètres, puis un faisceau laser ou d'électrons, contrôlé par un système optique, vient chauffer les grains de poudre jusqu'à leur température de fonte. La poudre est fondue de manière sélective, selon les paramètres géométriques définis à partir d'un fichier CAO. La poudre fondue est solidifiée rapidement formant des cordons de matière solides. » Elle permet la fabrication de châssis métalliques ou d'éléments de prothèse fixe mais ne présente pas une précision suffisante pour la réalisation de barres qui demandent une excellente passivité. Il faudra dans ce cas avoir recours à une reprise d'usinage. Elle permet cependant de mettre en forme toutes sortes d'alliages d'acier, d'aluminium et de titane, et de l'or.(5)

C'est une technique qui a tendance à arrondir les arrêtes du fait même de la fusion métallique. Ceci explique que l'on retrouve une moins bonne adaptation des chapes métalliques réalisées à partir de cette méthode par rapport à l'usinage ou la technique conventionnelle.(16)

La micro-fusion permet une précision de fabrication plus importante que pour l'usinage mais engendre une porosité importante (Figure 8) au sein du métal du fait même de son mode fabrication(9).

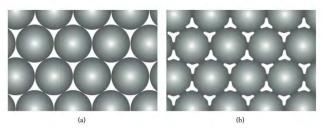


Figure 8 Le faisceau laser n'entraîne pas une fusion totale des particules de poudre métallique(a) et entraîne une porosité de la pièce finale(b).(9)

Cette porosité diminue les propriétés mécaniques du métal, ainsi pour des pièces recevant d'importantes charges occlusales on note un taux de fracture plus important.(9)

En revanche c'est un avantage que l'on recherche pour l'état de surface des implants.

De plus la micro-fusion permet, contrairement aux techniques soustractives, la production de pièces de taille importante. Elle est donc particulièrement indiquée pour la réalisation de châssis en prothèse amovible.(9)

Ainsi, la précision de ces techniques est majoritairement dépendante de deux facteurs. Premièrement, en diminuant le diamètre du faisceau laser on augmente la finesse de fabrication mais on élève également le temps de production.

Deuxièmement, l'épaisseur des couches successives a un rôle fondamental dans la finesse de fabrication et sur l'état de surface. Les pièces produites nécessitent souvent un polissage.(9) De plus on peut noter dans la Figure 9 que l'épaisseur des couches a une incidence plus importante sur le relief des faces occlusales que sur les pans verticaux d'une restauration.

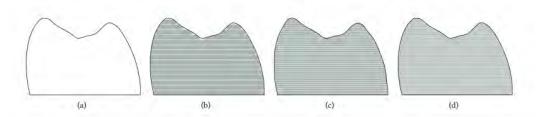


Figure 9 (a) surface idéale d'une restauration (b) lorsque l'épaisseur des couches est importante cela entraîne des imprécisions, particulièrement au niveau des surfaces occlusales(c) et (d) plus les couches sont fines plus les reliefs de la prothèse seront précis

En effet, Silva et al.(17) a montré que la création de chapes en zircone ou de couronnes par une méthode additive n'était pas concluante. L'épaisseur des couches dépend directement de l'épaisseur du « bec » et est donc responsable de l'aspect « en marche d'escalier » des faces occlusales créées. Plusieurs améliorations au niveau de la technologie sont à réaliser afin d'adoucir les aspects des faces occlusales, comme entre autre une meilleure gestion du positionnement du bec.

Bien que, les méthodes additives nécessitent encore quelques améliorations, elles présentent certains avantages sur les techniques soustractives(9) :

- -moins de gaspillage de matière
- -production d'objets plus grands
- -production passive : sans les contraintes mécaniques exercées sur les matériaux dans le cadre de l'usinage.
- -possibilité de « rattraper » un manquement de matière(18)

Ainsi, bien que les techniques soustractives soient les plus répandues, on assiste à un développement de ces méthodes additives. Des améliorations sont encore nécessaires mais du fait des critères cités précédemment, elles supplanteront probablement les méthodes soustractives.(9,11)

Actuellement, on peut dire pour résumer que les méthodes de micro-fusion sont adaptées à la production de châssis métalliques pour prothèses amovibles. Les techniques d'impression 3D et par stéréolithographie seront plus adaptées à la production de pièces en résine ou cire telles que des guides implantaires, modèles d'étude ou de travail. Les méthodes d'usinage sont plus adaptées pour l'élaboration de chapes métalliques de prothèse fixée, ou d'éléments implantaires. De plus, ce sont les seules techniques qui permettent de travailler certains types de céramiques (comme la zircone par exemple).(13,19)

| Techniques de fabrication | Usinage | | | Fabrication additive | | | | | | |
|---|---------|------------|----------|----------------------|------------|------------|--|--|--|--|
| | | | | Impression | | Micro- | | | | |
| Application | 3 axes | 4 axes | 5 axes | 3D | Stéréo | fusion | | | | |
| Waxup | | | | | | | | | | |
| Couronnes, chapes, bridges | ☺ | ☺ | ☺ | 00 | 00 | | | | | |
| Inlays/Onlays | ☺ | ☺ | ☺ | ☺ | © | | | | | |
| Implantologie (moignons, piliers) | | ☺ | ☺ | (4) | | | | | | |
| Barres sur implants | | ⊕ | <u> </u> | = | (2) | | | | | |
| Châssis métalliques (amovibles) | | | | ©© | 00 | | | | | |
| Zircone | | | | | | | | | | |
| Couronnes, chapes, bridges | 00 | 00 | 00 | | | | | | | |
| Inlays/Onlays | 00 | 00 | 00 | | | | | | | |
| Implantologie (moignons, piliers) | | (2) | : | | | | | | | |
| Barres sur implants | | (2) | ©© | | | | | | | |
| | | Cobalt-Ch | rome | | | | | | | |
| Couronnes, chapes, bridges | © | © | © | | | 00 | | | | |
| Implantologie (moignons, piliers) | | ☺ | ©© | | | (1) | | | | |
| Barres sur implants | | = | 00 | | | ⊕ | | | | |
| Châssis métalliques (amovibles) | | | | | | ☺ | | | | |
| Titane | | | | | | | | | | |
| Couronnes, chapes, bridges | 00 | 00 | 00 | | | ☺ | | | | |
| Implantologie (moignons, piliers) | | © | ©© | | | • | | | | |
| Barres sur implants | | ⊜ | 00 | | | ⊕ | | | | |
| Châssis métalliques (amovibles) Tableau 1 Adaptation de | | | | | | © | | | | |

Tableau 1 Adaptation de la technique de fabrication selon la pièce prothétique réalisée et le matériau. ©= technique peu adaptée ©= technique adaptée ©©= technique bien adaptée

I.1.4. Production esthétique et CFAO

Les outils de conception prothétiques permettent de reproduire exactement, une forme donnée. Par exemple, il existe des outils numériques miroir qui permettent d'inverser l'anatomie d'une dent afin de reproduire la dent controlatérale et de recréer les mêmes états de surfaces plus ou moins bien.(4,20)

Cependant, bien que les blocs de céramique fournis pour l'usinage présentent de très bonnes propriétés esthétiques, et que du maquillage existe, afin de créer des caractérisations dans le cas de besoins esthétiques importants (secteurs antérieurs) la référence reste à ce niveau-là la céramique stratifiée.

En effet les premiers maquillages que l'on appliquait de manière externe sur les restaurations pouvaient être altérés par le brossage des dents. (21,22) Cependant ces données datent de 2002 et 1980. Depuis plus de 10 ans, des progrès ont pu être réalisés, bien qu'il soit difficile de trouver de la littérature sur ce sujet. De plus lors du montage de la céramique le prothésiste peut appliquer dans la masse, différentes teintes et translucidités qui donneront un aspect plus naturel à la prothèse.

C'est là une limite importante des processus de fabrication assistée par ordinateur. Nous avons vu précédemment que ces techniques présentent d'autres limites. Pour le moment aucune technologie ne permet de remplacer la stratification de la céramique. C'est une des rares méthode de fabrication conventionnelle qui ne souffre d'aucune concurrence potentielle avec une méthode numérique.

Nous avons donc vu qu'il est possible aujourd'hui de fabriquer sous contrôle numérique la quasi-totalité des pièces prothétiques utilisées en prothèse dentaire (avec une fiabilité plus ou moins bonne). Il s'agit maintenant de comprendre la place et les enjeux de ces étapes de Conception et de Fabrication Assistées par Ordinateur au sein du processus prothétique.

I.2. Chaînes de réalisation prothétique

Les processus de CFAO visent à systématiser l'élaboration des prothèses, à contrôler numériquement la production des pièces prothétiques et à en diminuer le temps de fabrication. Cette automatisation des processus cherche à optimiser la qualité des restaurations.(23)

De manière classique, le processus de fabrication d'une prothèse quelle qu'elle soit suit le même schéma; qui sera plus ou moins répété jusqu'à la réalisation finale.

Prise d'empreinte conventionnelle → coulée d'un modèle en plâtre → réalisation prothétique numérique ou classique (définitive ou intercalaire : maquettes d'occlusion, chape, châssis seul...)

Depuis l'apparition de la CFAO en chirurgie dentaire nous avons deux processus possibles au niveau de la chaîne prothétique :

Le processus conventionnel :

Prise d'Empreinte Conventionnelle (=PEC) → Coulée du modèle en plâtre → Réalisation classique/manuelle par le prothésiste

Le processus numérique :

Prise d'Empreinte Optique (=PEO) → CFAO au cabinet

PEO → envoie des données au prothésiste → CFAO au laboratoire

Comme la Figure 10 le montre ces deux chaînes ne sont pas hermétiques, et il est possible à tout moment du processus de basculer de l'une à l'autre. En effet, il est important de noter, comme le suggère la Figure 10, que la technique d'empreinte employée est dissociable du processus de fabrication qui s'en suit. A partir d'une empreinte optique on peut obtenir un modèle, en polyuréthane le plus généralement, et réaliser la prothèse de manière classique à partir de ce dernier.

Inversement, il est possible d'avoir recours à une empreinte classique qui sera envoyée au prothésiste. Ce dernier utilisera un scanner afin de modéliser l'empreinte ou bien son modèle en plâtre et réalisera par CFAO la prothèse. On parle dans ce cas de **CFAO indirecte**.

Selon l'équipement du dentiste et du type de prothèse, il est possible de réaliser l'empreinte numérique et la prothèse au cabinet, en une séance, grâce à une usineuse (le système CEREC par exemple) : on parlera ici de **CFAO directe**.

Enfin pour des prothèses plus complexes ou nécessitant un équipement plus important, on a la possibilité d'envoyer par internet le fichier informatique de l'empreinte numérique au prothésiste qui continuera le processus de CFAO : c'est la **CFAO semi-directe**.

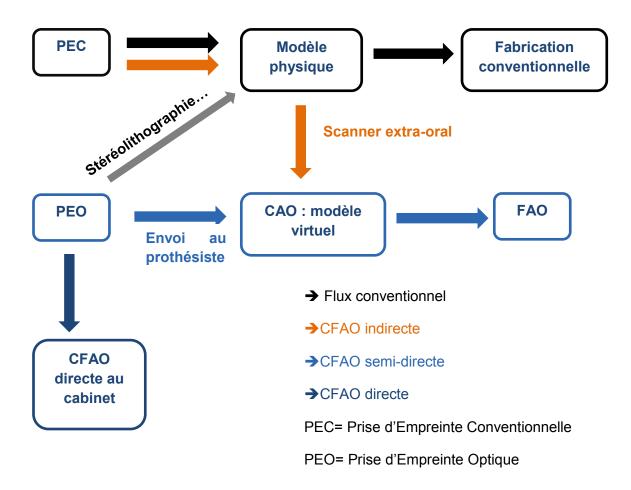


Figure 10 Schéma des processus prothétiques

Ainsi nous pouvons dire que la CFAO permet une <u>simplification de la chaîne</u> <u>prothétique</u>. Le gain de temps par rapport à un processus conventionnel est indéniable dans les cas de CFAO directe, puisqu'on réduit à une séance les étapes de préparation et de pose des prothèses.

Ces différents processus numériques cherchent également la <u>réduction des</u> <u>imprécisions</u> dans la chaîne de fabrication prothétique ainsi qu'une <u>diminution des</u> <u>temps de production</u>.

Pour diminuer les imprécisions, il s'agit de réduire les sources d'erreurs potentielles, pour cela il s'agit de réduire la perte d'information dans la chaîne prothétique. Dans le processus de CFAO, la phase de conception ne souffre pas de perte d'information. Les deux étapes charnières sont celles :

- du passage de la réalité au virtuel : l'enregistrement des informations des reliefs bucco-dentaires, l'obtention d'un modèle virtuel
- du passage du virtuel à la réalité : la production d'une pièce prothétique à partir d'un modèle virtuel

Nous avons vu précédemment qu'il y a deux façons d'obtenir les informations numériques des reliefs bucco-dentaires : à partir d'une empreinte optique ou bien à partir d'une empreinte conventionnelle.

Les processus de CFAO directe et semi-directe permettent grâce à la prise d'empreinte optique d'éviter totalement la production de modèle de travail, diminuant ainsi des sources d'erreurs potentielles (24,25).

En effet, on sait que de nombreuses inadaptations de prothèses peuvent être liées aux étapes de fabrication des modèles de travail. Ces déformations des modèles peuvent venir de (6,26–31):

- Des problèmes de stabilité dimensionnelle et de précision du matériau d'empreinte
- La technique de prise d'empreinte
- Le transport des empreintes
- Le porte-empreinte
- Des malpositions dentaires pouvant entraîner des phénomènes de tirages
- Des problèmes lors de la coulée du plâtre (bulles...)
- Le déplacement d'une dent mobile par le matériau à empreinte ou le porteempreinte

En revanche, il est important de noter que la suppression du modèle physique n'est pas un but en soi. Comme la Figure 10 le suggère, il est possible d'obtenir un modèle physique, indispensable pour la **réalisation de pièces prothétiques en céramique stratifiée par exemple**.

Patzelt et al.(25) a également montré dans une étude in-vitro que le temps de mise en œuvre des empreintes numériques était inférieur à celui des empreintes conventionnelles. Cependant, c'est une étude in-vitro qui ne prend donc pas en compte de nombreux facteurs cliniques tels que la compliance du patient par exemple.

Ainsi on peut dire l'empreinte optique constitue le premier maillon des processus tout numériques. Et il est possible de conclure que ces processus présentent de nombreux avantages(18,24,28) :

- L'élimination de nombreuses étapes de production qui engendrent des erreurs potentielles
- Moins de transport
- Un meilleur confort du patient
- Une évaluation immédiate des préparations et des congés permettant de les reprendre s'ils ne sont pas satisfaisants au regard du modèle virtuel
- Un stockage plus aisé
- La possibilité de réutiliser ultérieurement les informations sur les reliefs intraoraux

Cependant bien que les CFAO directe et semi-directe présentent de nombreux avantages, il ne faut pas oublier que des erreurs potentielles sont également présentes au sein de ces chaînes. Globalement, la précision de ces systèmes semble dépendre de :

- La précision de l'empreinte optique
- L'expérience clinique de l'utilisateur
- Du logiciel de traitement des données et de CAO (capacité de détection des limites de préparations…)
- La précision des machines-outils de FAO

Ainsi nous pouvons dire aujourd'hui qu'il est possible de contrôler numériquement toute la chaîne de réalisation prothétique. En revanche les techniques de FAO présentent encore des limites et ne remplacent pas totalement les techniques de fabrication conventionnelles.

De plus, même si l'empreinte optique permet de réduire les pertes d'informations au cours du processus, il s'agit maintenant de savoir dans quelle mesure elle peut remplacer les techniques conventionnelles.

II. L'empreinte optique

Selon le Larousse médical, une empreinte dentaire correspond au « moulage des dents, du relief de la mâchoire et de ses tissus de revêtement. »(32)

De nos jours, avec l'apparition de nouvelles technologies, on ne peut plus se limiter à cette seule notion de « moulage », qui ne couvre que les empreintes conventionnelles.

François Duret, quant à lui, définit l'empreinte dentaire de la manière suivante : « une prise d'empreinte dentaire est la mise en œuvre d'une méthode capable de mesurer une perturbation et de la restituer sous une forme utilisable, palpable, visible, voire métrique. Elle doit conduire à mettre ces informations à la disposition de l'opérateur qu'il soit prothésiste ou dentiste. »(33)

Une empreinte correspond donc, selon lui, à une « perturbation ». Dans le cadre des techniques conventionnelles c'est la perturbation de la surface du matériau d'empreinte qui va nous permettre l'enregistrement tridimensionnel.

Dans le cadre d'une empreinte optique, c'est la perturbation d'un champ électromagnétique (la lumière) engendrée par les volumes bucco-dentaires qu'il s'agit d'interpréter afin d'en obtenir une représentation tridimensionnelle.

Au-delà d'une simple modélisation cela permet d'obtenir les données métriques des points constituants la surface du volume étudié. La taille et la densité des points définissant la précision de l'empreinte. Ainsi nous pouvons même dépasser le concept d'« empreinte » pour celui de « mesure dentaire » plus approprié aux besoins de la CFAO.

Il est néanmoins nécessaire de préciser, qu'à la différence de l'imagerie 3D radiologique qui reconstruit les volumes dans leur intégralité, une empreinte cherche seulement à enregistrer en 3D la surface de ce volume.

II.1. Fonctionnement d'une caméra

Nous avons déjà établi qu'une empreinte optique consiste en la mesure de la perturbation d'un rayonnement lumineux. Afin de coller aux besoins de la CFAO il faudra également être capable de transformer ces données analogiques en données numériques.

De ce fait, quatre éléments de base sont nécessaires au fonctionnement de la caméra optique(33) :

-un ou plusieurs émetteurs : qui vont projeter le rayon lumineux sur l'objet à mesurer

-des capteurs, spécifiques du rayonnement émis qui vont permettre d'analyser la déformation de la lumière ou de son intensité. Ils fournissent le plus généralement une information analogique. Ainsi un autre élément est indispensable :

-un convertisseur : de l'information analogique en numérique afin qu'elle puisse être traitée par ordinateur ou convertisseur A/D.

-des filtres et des algorithmes pour traiter l'image obtenue et la transmettre aux différents acteurs de la conception assistée par ordinateur, le plus généralement dans au format exploitable et universel: « STL »

II.1.1. Capteur CCD ou c-MOS

De même qu'en photographie l'enjeu d'une caméra optique est de transférer des informations analogiques, visuelles afin qu'elles soient traitées par ordinateur. Il faut donc être en mesure de récupérer des données analogiques et de les convertir en données numériques. C'est la fonction des capteurs et des convertisseurs précédemment cités.

Généralement en photographie, deux types de capteurs sont utilisés : CCD (Charge-Coupled Device) ou CMOS (Complementary Metal Oxyde Semiconductor)(34). Ces capteurs sont composés d'un réseau de pixels, contenant chacun une photodiode. (35)

CCD : Les photodiodes des pixels réagissent à la lumière et fournissent un signal électrique. Le signal de chaque colonne de pixel est récupéré et un signal électrique analogique est fourni au convertisseur A/D en sortie de capteur.(36)

CMOS : également composé de photodiodes il convertit directement le signal électrique de chaque pixel (=photodiodes) numériquement(36). De ce fait il est plus rapide que le CCD mais moins performant dans le cas de luminosité faible.

A l'instar d'une photographie numérique, une caméra 3D reprend les principes généraux de la prise de vue en 2 dimensions. On retrouvera l'utilisation de ces différents types de capteurs, qui permettront de fournir les données informatiques exploitables par les différents logiciels de CFAO.

Cependant, et c'est là tout l'enjeu de la technologie de ces caméras optiques, il s'agit ici de capturer une 3^{ème} dimension : la profondeur ou hauteur. C'est le rôle que vont jouer les « émetteurs » cités précédemment. En effet nous allons chercher à exploiter les propriétés optiques de la lumière en projetant sur les surfaces à reconstituer un rayonnement choisi et connu (le plus souvent un laser).

Il existe différentes techniques qui vont permettre à la caméra d'évaluer le relief.

II.1.2. Techniques d'acquisition

a. Méthodes par triangulation

Cette technique est directement issue d'un principe mathématique datant du Ilème siècle avant JC : la trigonométrie.

En connaissant quelques éléments d'un triangle on peut en calculer les autres. Ainsi le principe de la triangulation suppose de recréer un triangle dont les trois sommets sont constitués par :

- Un émetteur : qui émet un rayonnement lumineux connu et orienté (laser par exemple)
- L'objet à mesurer sur lequel le rayonnement se réfléchit
- Un capteur qui enregistre la déformation de la lumière engendrée par sa réflexion sur l'objet

C'est le jeu du convertisseur, des filtres et des algorithmes d'interpréter ce rayonnement afin de reconstituer en 3D la surface de l'objet mesuré. Il s'agit pour cela, de comparer le rayonnement réfléchi avec celui émis sur un plan de référence(33).

Il est possible de projeter différents motifs :

- Projection d'un point : c'est une méthode très précise, de l'ordre de 5µm.
 Elle est utilisée pour des scanners extra-oraux de laboratoire par exemple.
 Mais elle a l'inconvénient de présenter un temps d'enregistrement trop lent dans le cadre d'une utilisation intra-orale.
- Projection d'une ligne : la déformation de la ligne permet de reconstituer le relief. Cette méthode d'enregistrement est également trop lente pour une empreinte optique intra-orale.
- Projection d'un masque : il s'agit de projeter une grille à trame régulière et à pas connu. Ainsi l'image du modèle éclairé est récupérée par le récepteur (CCD ou C-mos). Cela permet un nombre très diminué d'images de l'objet.

Dans la littérature, de nombreux articles attribuent le principe de triangulation à deux systèmes remarquables(37): le CEREC(38) (remarquable car c'est le système le plus vendu) et le système Hennson/Duret (première caméra optique intrabuccale).

Cependant pour François Duret ces caméras utilisent une méthode proche de la triangulation qui s'apparenterait en réalité aux méthodes d'interférométrie.(33) Il est donc difficile de trouver une classification précise des différentes méthodes

optiques utilisées dans le cadre des empreintes numériques. Actuellement, les caméras du système CEREC utilisent cette technique (Figure 11).



Figure 11 Caméra Bluecam de Sirona à gauche et caméra Omnicam de Sirone à droite

Selon Duret, les caméras du système CEREC, utilisent un montage de triangulation avec une projection d'un moiré électronique selon la technique dite de shifting ou méthode de codage par phase.(33)

Le principe du moiré optique est l'observation d'une surface à travers deux réseaux (grilles) microscopiques neutres. L'interférence lumineuse entre ces deux réseaux entraîne une modification de phase créant ainsi un aspect macroscopique très visible.

Dans le cas d'une empreinte numérique on utilise un moiré électronique. Les différentes intensités lumineuses résultant du décalage de phase (déplacement de la grille) entre le laser appliqué sur un plan de référence (défini en usine : calibration) sont comparées avec la phase de ce même rayonnement au moment où il frappe la dent. Afin de corréler l'intensité lumineuse, la distance et la phase il faut au minimum analyser 4 images :Comme on peut le voir dans la Figure 12 on projette 4 fois le même motif lumineux et on décale la grille d'une distance connue dans un temps très rapide (décalage de phase).(33)

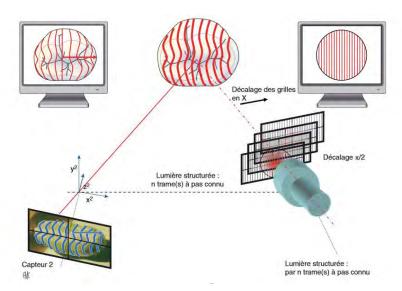


Figure 12 Montage optique de triangulation

Dans la Figure 12 on retrouve le montage de la triangulation avec ses trois sommets (émetteur, objet et capteur) précédemment expliqué.

b. Active wavefront sampling/ princie de focalisationdéfocalisation dynamique

Cette méthode s'appuie sur un principe bien connu en photographie : la focalisation/défocalisation. L'utilisation d'une lentille engendre nécessairement l'apparition d'un plan focal. Comme nous pouvons le voir dans la Figure 13, lorsque l'objet se situe en dehors de ce plan il apparaît flou.(39)

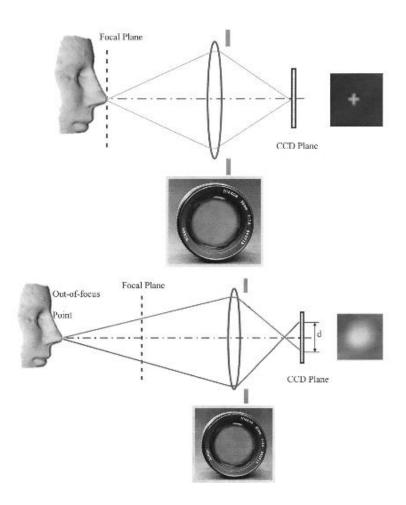


Figure 13 Lorsque que l'objet se situe dans le plan focal il apparaît net (haut) et en dehors il est flou (bas)

C'est cette propriété qui est exploitée afin de connaître la distance de l'objet au plan focal. Par le jeu de différentes ouvertures au niveau de la lentille on peut obtenir une image de l'objet et sa distance par rapport au plan focal. Dans le cas d'empreinte dentaire, il s'agit encore une fois d'avoir un rapport précision/temps d'acquisition acceptable. Dans le système Lava C.O.S (Figure 14). qui est le seul à utiliser ce principe, on a 3 ouvertures qui permettent l'acquisition de 20 vues par sec.(33)



Figure 14 Caméra Lava C.O.S. de Lava

c. Tomographie optique de cohérence ou technique du moiré

Le principe de la tomographie optique de cohérence est de séparer en deux un faisceau lumineux (laser monochromatique) afin que celui-ci se dirige vers un miroir de référence et sur l'objet à mesurer. C'est l'interférence de la réflexion de ces deux faisceaux qui va donner les informations quant à la distance des différents points de l'objet (Figure 15). Afin de couvrir tous les points de l'objet, il faut déplacer le miroir de référence.

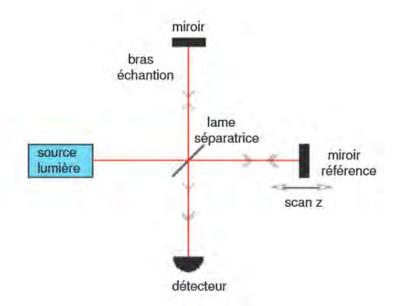


Figure 15 . Principe de la tomographie optique de cohérence. Dans le cas d'une empreinte optique on remplace le miroir issu du bras échantillon par un objet biologique à savoir les tissus bucco-dentaires.

Dans le cas d'une empreinte optique, afin d'obtenir les coordonnées dans les 3 dimensions de l'espace on multiplie les miroirs de référence. De plus, la prise d'empreinte intra-buccale nécessitant une acquisition des informations rapide, on utilise des micro-miroirs vibrant à 20000 cycles/sec. Cela va permettre l'acquisition rapide de nombreuses images qui, assemblées par le software, vont engendrer la reconstitution 3D des volumes bucco-dentaires.(40)



Figure 16 Caméra Planscan de Planméca

Ce principe est utilisé dans l'E4D system qui a sorti en France la caméra Planscan avec Planméca. (Figure 16)

d. Parallèle confocale

Elle est basée sur le principe du microscope confocal.

Il s'agit de faire passer le faisceau laser à travers un montage optique, représenté simplifié dans la Figure 17.

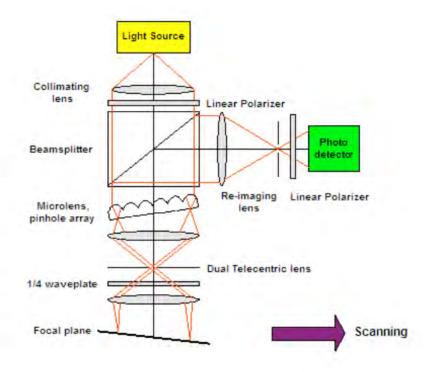


Figure 17 Montage optique de la technique de parallèle confocale

L'intensité lumineuse perçue par le capteur sera maximale au niveau du plan focal, celui-ci étant connu, on connaît donc la distance de l'objet. En faisant varier la distance entre l'objet et l'objectif on obtient différentes images dans les différents plans focaux. Cela permet de reconstituer de proche en proche le volume mesuré.

Dans le cas d'une caméra optique, l'enjeu est de capturer un nombre suffisant d'images en un temps acceptable. Pour cela on ajoute une grille de microlentilles possédant toutes le même plan focal. La grille est inclinée afin de couvrir plusieurs plans. Cela permet de multiplier le nombre d'images et le nombre de plans focaux en une seule prise.(41)

Ce principe est utilisé par la caméra iTero (Figure 18) et la grille de microlentilles permet la découpe en différents plans espacés de 50µm.(42) Elle permet l'acquisition de 10000 points (1 point correspond à une microlentille) et de 300 plans focaux différents en une prise. En effet, ce fonctionnement nécessite une utilisation par prises de vues et non par balayage comme une majorité de caméras optiques.



Figure 18 Caméra iTéro de Cadent

II.1.3. Poudrage ou non

Nous avons vu que la mesure de la hauteur est basée, selon les différents systèmes, sur la réflexion de la lumière. Il faut donc que cette réflexion soit diffuse, c'est-à-dire la <u>même en tout point de la surface</u>; on parle de surface lambertienne(43); ce qui n'est pas le cas pour les surfaces brillantes par exemple.

De plus le matériau doit réfléchir <u>suffisamment la lumière</u>. Ainsi la translucidité entre en ligne de compte, plus elle augmente moins on aura de réflexion de lumière au niveau du capteur. Elle peut donc altérer la qualité de l'empreinte. Il est d'ailleurs important de noter qu'en bouche, il est possible de trouver différents matériaux dont la translucidité est différente. Ceci peut également être une source d'erreur.

Afin de palier à cela, il est possible de mettre en œuvre plusieurs critères. Il faut chercher d'abord à avoir des surfaces sèches, exemptes au maximum de salive ou de saignement(44). En effet comme nous pouvons le voir dans la Figure 19 la présence d'une couche d'eau sur les surfaces peut entraîner des déformations non négligeables.(38)

Pour obtenir une réflexion uniforme de la lumière ainsi qu'une unité de teinte il est possible d'avoir recours au poudrage (généralement avec du dioxyde de titane) des surfaces bucco-dentaires.

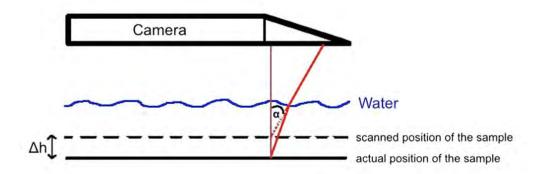


Figure 19 Illustration des erreurs possibles lorsqu'une couche d'eau est déposée sur le relief

Cependant l'ajout d'une couche plus ou moins uniforme sur le relief dentaire présente plusieurs inconvénients non négligeables :

- -La couche de poudre doit être la plus uniforme possible sinon cela peut donner lieu à des déformations du relief(37).
- -A la mandibule le maintien d'une couche uniforme de poudre sur les dents s'avère particulièrement difficile du fait de l'abondance de la salive dans cette zone.
 - -Le poudrage est souvent perçu de manière négative par les patients
 - -Il faut éviter de toucher les surfaces poudrées avec la caméra
 - -La poudre peut encrasser la lentille de la caméra(38)

Ainsi de plus en plus de systèmes permettent d'éviter l'usage de poudre avec l'utilisation de lumière fluorescente ou phosphorescente. Ils ne dispensent pas de la mise en place de certains prérequis comme le séchage des surfaces, par exemple.

II.2. Caméras

| caméra | constructeur | technique optique | poudrage | date de lancement | système | prise de vue | notes | présentation |
|---------------|------------------|--|----------|----------------------|----------------|---------------------|---|--------------|
| Lava C.O.S. | 3M | active wavefront sampling | oui | 2008 | semi ouvert | balayage | possibilité des traiter les données avec plusieurs logiciels de conception compatibles | chariot |
| TRIOS | 3Shape | confocal microscopy/ technique optique de sectionnement ultra- rapide | non | 2011 | stl/ouvert | clichés | | chariot |
| Condorscan | Aabam | stéréphotogrammétrie | non | 2014 | stl/ouvert | balayage | prise de vue aux couleurs naturelles | caméra seule |
| iTero | Cadent | parallèle confocale | non | 2007 | stl/ouvert | clichés | | chariot |
| cs 3500 | Carestream | ? | non | ? | stl/ouvert | balayage | prise de vue aux couleurs naturelles | caméra seule |
| Planscan | Planméca/ E4D | tomographie optique de cohérence | non | 2014 | stl/ouvert | balayage | | caméra seule |
| cerec bluecam | Sirona | triangulation active | oui | 2009 | fermé | clichés | | chariot |
| cerec omnicam | Sirona | triangulation active | non | 2012 | fermé | balayage / vidéo | prise de vue aux couleurs naturelles | chariot |
| appollo di | Sirona | triangulation active | oui | 2013 | semi ouvert | balayage | Choix du prothésiste travaillant avec inLab 4.2 | chariot |
| zfx intrascan | zfx dental | parallèle confocale | non | ? | stl/ouvert | balayage | | caméra seule |

II.3. La prise d'empreinte optique

II.3.1. Limites

Bien que la prise d'empreinte numérique présente de nombreux avantages, on trouve néanmoins des limites à son utilisation liées principalement au patient, au système optique et au logiciel de traitement des données numériques :

Saignement sulculaire(26)

Il peut masquer une partie des reliefs-bucco-dentaires et notamment les limites des préparations.

Flux salivaire(26)

En effet, nous avons précédemment noté que la présence de liquide peut influencer négativement les systèmes des scanners intra-oraux.

Accessibilité de la caméra(26)

Une ouverture buccale limitée ou bien un ramus mandibulaire proche des surfaces dentaires peuvent limiter voir empêcher l'accès de la caméra dans les secteurs postérieurs.

Localisation de la limite de préparation(26)

Une limite trop profonde sera plus difficile à enregistrer correctement

Mouvements du patient(45)

II.3.2. Qualité-précision

Il s'agit d'étudier la qualité des empreintes numériques par rapport aux techniques conventionnelles, afin de déterminer la technique la plus fiable selon les différentes situations cliniques.

On parlera plus précisément d'« exactitude » plutôt que de qualité ou de précision d'empreinte. Afin de juger cette « exactitude » deux critères seront pris en compte(46) :

<u>Justesse</u>: c'est une valeur qui mesure le taux de déviation entre les dimensions réelles de l'objet et la mesure de l'empreinte.

<u>Fidélité</u>: c'est une valeur qui mesure les différences entre les résultats obtenus à partir des mesures répétées d'un même objet avec le même système d'empreinte.

Il est difficile de définir l'exactitude « dans l'absolu » d'une technique d'empreinte. En effet, cela nécessite la comparaison avec une <u>mesure de référence</u> effectuée le plus généralement avec un scanner extra-oral. On ne peut donc pas réaliser de comparaisons dans des conditions cliniques puisque cela signifierait que l'on peut obtenir une mesure de référence des reliefs bucco-dentaires avec une autre technique que la conventionnelle ou numérique. Différents moyens sont à notre disposition afin d'évaluer l'exactitude d'une technique (47) :

Le premier consiste en l'utilisation d'un scanner extra-oral de référence. Il s'agit de scanner un modèle de référence ainsi qu'un modèle en plâtre (si l'on souhaite évaluer une technique conventionnelle de prise d'empreinte) et/ou de comparer les fichiers numériques avec celui acquis à partir d'un scanner intra-oral testé.

Bien que cela reste un bon moyen d'évaluer « dans l'absolu » l'exactitude d'une technique d'empreinte, ce n'est réalisable que dans le cadre d'une étude invitro. On ne prend donc pas en compte les conditions cliniques de réalisation des empreintes qui peuvent être des sources d'erreurs.

On peut également comparer les résultats des différents types d'empreintes réalisées sur un objet calibré de référence dont les dimensions sont connues comme une sphère par exemple. Cependant l'anatomie des reliefs bucco-dentaires étant complexe, l'analyse n'est généralement pas assez fine. De même cela reste une étude in-vitro.

Arcades complètes :

Dans la littérature, peu des données sur la qualité des empreintes numériques d'arcades complètes sont à notre disposition. Cependant il ressort que le gold-standard actuel en terme d'empreintes dentaires : les empreintes avec des élastomères, reste significativement supérieur aux empreintes numériques lorsqu'il s'agit d'arcade complète.(47)

En effet, il semblerait que sur plusieurs systèmes testés, on ait une justesse et une fidélité meilleures en antérieur qu'en postérieur. On retrouve dans les secteurs postérieurs des déviations dans le plan horizontal (Figure 20), avec des erreurs de justesse qui peuvent aller jusqu'à 170µm au niveau des deuxièmes molaires(48).

Pour Van der Meer(49), la création d'un volume plus important que celui du champs de la caméra entraîne des erreurs de position et d'angulation sur la longueur de l'arcade du fait de l'accumulation d'erreurs des différentes images assemblées.

Pour Seelbach(50), l'exactitude d'une empreinte optique dépend de 2 facteurs : le système de mesure optique et la précision de l'algorithme qui permet d'assembler entre elles les images obtenue pour recréer l'arcade complète. C'est

précisément cette phase de reconstitution numérique qui est incriminée par plusieurs auteurs. En effet, on note que ces déviations importantes ne se situent généralement que d'un côté.

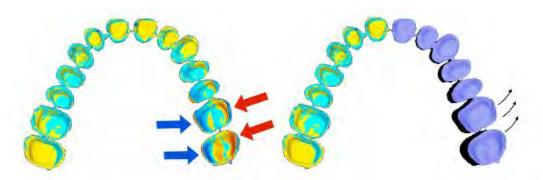


Figure 20 Illustration des déformations possibles lors de la prise d'une empreinte d'arcade complète

Il semblerait donc que ce soit l'accumulation des erreurs survenant lors de la phase d'enregistrement et de traitement numérique des images qui soit à l'origine de ces importantes déformations. Ainsi, selon certains auteurs on pourrait envisager d'obtenir des empreintes d'arcades complètes plus fiables dans l'avenir grâce à des améliorations des logiciels et non des caméras.(47–49,51)

La caméra Lava COS serait le système qui présenterait le moins de déviations parmi les systèmes testés. Ceci serait principalement dû au fait qu'elle fournit un plus grand nombre d'images (20 par seconde).(48,49,51)

De plus, selon Ender et Patzelt, il semblerait que le nombre de préparations altère la qualité de l'empreinte numérique. Plus ce nombre augmenterait, plus les différences entre les systèmes d'EO seraient significatives. (47,48)

Arcades partielles :

On sait qu'en situation clinique de nombreux facteurs peuvent influencer la qualité d'une empreinte, qu'elle soit optique ou conventionnelle. Ainsi, lorsqu'on cherche à se rendre compte de la qualité d'une empreinte, il est préférable de se trouver en situation clinique.

Dans ces conditions, un moyen d'évaluer une technique numérique est de la comparer à ce qui est considéré aujourd'hui comme la référence: l'empreinte conventionnelle avec des élastomères. Cette comparaison réside dans l'analyse de l'adaptation finale de prothèses réalisées à partir de différents types d'empreintes. Nous avons vu plus haut que l'on peut basculer à tout moment d'un processus prothétique à un autre. C'est cette propriété que l'on va utiliser, en scannant à l'aide d'un scanner extra-oral, un modèle en plâtre obtenu à partir d'une empreinte conventionnelle on obtient un fichier numérique dans le même format que celui de l'empreinte optique. On réalise par les mêmes procédés de CFAO, les prothèses.

Ainsi, on peut comparer aisément une technique numérique avec une technique classique.(47)

Bien qu'il n'y ait pas de consensus réel, il semblerait que de nombreux auteurs admettent que l'adaptation marginale des couronnes soit acceptable en dessous de 120µm.(45,52)

Plusieurs études in-vitro ont montré que les adaptations marginales de couronnes céramiques ou céramo-métalliques obtenues à partir d'empreintes optiques (différents scanners intra-oraux testés) présentaient des valeurs plus petites ou équivalentes à celles obtenues à partir d'empreintes classiques.(24,50,52,53).

Ces résultats ont été corroborés dans des études in vivo effectuées sur des restaurations unitaires ou de petite étendue (jusqu'à 3 éléments). (26,45,54,55). Les valeurs moyennes se situant généralement bien en dessous de 90µm pour des restaurations céramiques ou céramo-métalliques.

Il en est de même avec les restaurations partielles de types inlay/onlay, Schaefer et al. a conclu que la réalisation d'onlays à partir de différents scanners intra-oraux donnait des résultats satisfaisants en termes d'adaptation marginale.(56)

Dans son étude in vivo Brawek et al. a trouvé des différences significatives entre différents scanners intra-oraux.(54) Cependant Seelbach(50) qui a également comparé ces scanners dans une étude in vitro n'a pas trouvé les mêmes résultats car il a utilisé les mêmes chaînes de fabrication pour toutes les prothèses (indépendamment de la caméra utilisée), tandis que dans l'étude de Brawek, les chaînes de fabrication sont différentes selon le scanner intra-oral utilisé. (45) Ainsi lorsque l'on teste deux scanners intra-oraux en comparant l'adaptation prothétique, il est nécessaire que les étapes de conception et de fabrication soient scrupuleusement les mêmes.

Cependant Brawek, conclut tout de même qu'un flux numérique exclusif est cliniquement satisfaisant pour la réalisation de couronnes unitaires.(54)

De manière générale, on considère encore que les empreintes classiques en élastomères restent le système de référence mais dans le cas de restaurations unitaires ou de petites étendues (jusqu'à 3 éléments) on peut dire que les empreintes numériques présentent un niveau de précision suffisant voire supérieur à des techniques classiques.(45,50,53)

De même en analysant la qualité des modèles obtenus selon le type d'empreinte une étude de Cho et al. a montré qu'au niveau des préparations les modèles obtenus à partir d'un scanner intra-oral (Lava COS) présentaient une précision équivalente.(6) Il en est de même avec un étude réalisée sur une dent unitaire (iTéro).(57)

En revanche, au regard de l'arcade complète les modèles en polyuréthane semblent moins précis avec des déformations plus importantes dans les secteurs postérieurs.(6,15)

On peut conclure que pour l'enregistrement d'arcades complètes, la technique d'empreinte numérique n'atteint pas la précision de la technique conventionnelle la plus fiable, en particulier lorsque l'on a un nombre important de préparations. Cependant elle convient dans les cas de réalisation de couronnes unitaires et de bridges jusqu'à 4 éléments.(58) De plus, pour des réhabilitations unitaires ou de petite étendue, les techniques d'empreintes numériques sont généralement supérieures aux techniques conventionnelles que ce soit pour des restaurations céramiques ou céramo-métalliques conçues par CFAO(45,50,53). Pour la production prothétique par des chaînes de fabrication conventionnelles, il semble que la production de modèles en polyuréthane puisse atteindre des précisions satisfaisantes dans le cas de réhabilitations de petite étendue, bien que nous ayons vu précédemment que la précision des modèles en polyuréthane dépend en partie de leur mode de fabrication.(6,15,57,59)

Prothèse supra-implantaire :

Au niveau implantaire, un consensus de l'EAO a été établi en 2015 sur les technologies numériques. Il soulève un manque de littérature et le besoin de recherches futures en ce qui concerne la prothèse implantaire dans le domaine de la CFAO.

Papaspyridakos souligne, également, dans sa revue systématique un manque d'études dans ce domaine et ne peut donc pas conclure sur la qualité des empreintes numériques dans le cadre de prothèses fixes implanto-portées. (60)

Cependant dans une autre revue systématique Moreira (61) conclut que plusieurs critères sont à respecter afin d'obtenir une empreinte de qualité équivalente voire supérieure à une technique conventionnelle.

Selon lui, le transfert d'implant (body scan) doit présenter un degré d'adaptation sur l'implant de haute précision afin de de transmettre des informations importantes telles que la position et l'angulation de l'implant. En effet, le consensus 2015 de l'EAO conclut qu'avec des recherches futures des transferts d'implants validés devraient être disponibles.(62)

Enfin, Van der meer explique dans son étude in-vitro que dans le cas d'arcades complètes avec peu de piliers implantaires certains systèmes optiques ont montré une grande précision, mais un protocole très rigide doit être appliqué. Ainsi la qualité de l'empreinte serait opérateur-dépendante et expérience-dépendante.(49,61)

Il est donc difficile de conclure sur la qualité des empreintes optiques en prothèse supra-implantaire car il y a un manque de littérature sur le sujet.

II.3.3. Enregistrement de l'occlusion :

Après le scan des deux arcades, ou de deux quadrants antagonistes il s'agit ensuite de fournir au logiciel de conception les informations d'occlusion.

Dans des cas simples, lorsque l'on a une occlusion dentée valide et reproductible, il suffit de prendre un cliché vestibulaire en occlusion. Ce cliché va permettre au logiciel de placer les arcades antagonistes ou quadrants antagonistes l'un par rapport à l'autre en occlusion. Afin de ne pas interférer sur la position d'intercuspidation maximale il est recommandé de prendre ce cliché dans la région canine/ 1ère prémolaire, zone où il y a le plus de place pour la caméra (laxité labiale). Il est également possible pour des empreintes considérant des secteurs très limités (une dent) de saisir la situation occlusale avec un mordu. Un cliché complémentaire de la préparation avec le mordu avec la face occlusale de la dent antagoniste visible permet de replacer les arcades entre elles. Cette méthode est utile dans le cas de restaurations unitaires postérieures car elle permet de diminuer le nombre de clichés nécessaires.(4)

Pour des cas plus complexes, Guth dans son rapport de cas où il réalise deux bridges complets maxillaire et mandibulaire, enregistre l'occlusion à l'aide bourrelets en résine sur la totalité des arcades sauf pour la région canine/prémolaire d'un seul côté. C'est à ce niveau qui réalise le cliché vestibulaire pour enregistrer la relation intermaxillaire statique.(63)

Cependant son protocole ne permet pas d'enregistrer numériquement la position cranio-faciale de l'arcade maxillaire et donc de réaliser le réglage en occlusion dynamique des prothèses. Pour cela il passe par un protocole conventionnel : à partir des modèles obtenus avec les empreintes optiques, il réalise une mise en articulateur classique avec un arc facial conventionnel. Et le réglage dynamique des prothèses se fait sur cet articulateur.(63)

Solaberrieta, a décrit un protocole de mise en articulateur numérique. Cela suppose l'utilisation d'un arc facial numérique. Schématiquement, il enregistre la position d'un pointeur sur 6 marqueurs (3 faciaux et 3 dentaires) différents par rapport à un point de référence. Ainsi on peut enregistrer la position cranio-faciale du maxillaire. Il suffit ensuite d'enregistrer les rapports inter-arcade afin de finaliser le montage en articulateur numérique. Ce protocole implique cependant, l'utilisation d'un scanner extra-oral et complique donc son utilisation systématique au cabinet dentaire.(64)

Ainsi bien que des outils numériques de simulation d'articulé dentaire soient disponibles, le transfert de certaines données, telles que la position cranio-faciale de l'arcade maxillaire s'avère complexe voire impossible avec l'utilisation seule d'un scanner intra-oral.

II.3.4. Le cas particulier des inlays-core :

Actuellement, seule une caméra permet de réaliser des empreintes numériques pour inlay-core, c'est la TRIOS (3Shape). Ces empreintes se réalisent à l'aide de transferts calibrés « disponibles pour une majorité de fournisseurs de pivots »(65) qui donnent ainsi des indications de profondeur et d'angulation du canal. Il faut donc pour cela réaliser deux empreintes de la préparation (une avec le transfert et une sans). Ces empreintes sont ensuite superposées et corrélées par le logiciel afin d'extraire les données anatomiques de la préparation.(65,66)

Théoriquement, toutes les caméras sont susceptibles de réaliser ces empreintes pour inlays-core. C'est au niveau du logiciel qu'il y a un manque : la forme du tenon doit être reconnue et segmentée (isolée) du reste de l'image afin de reconstituer le relief canalaire de la préparation.

Dans la mesure où le système TRIOS est un système ouvert, on peut aisément imaginer transférer un fichier au format STL sur le logiciel de traitement des données de la caméra et interpréter ainsi les deux empreintes optiques afin de reconstituer un modèle virtuel contenant les informations nécessaires pour la conception d'un inlay-core.

Par ailleurs, en 2014 Lee a décrit un protocole, permettant la CFAO d'inlay-core en zircone et fibre de verre à partir d'empreintes numériques. Il s'agit de réaliser une empreinte numérique de préparation avec un tenon long. La partie coronaire de l'inlay-core est conçue autour de ce tenon et ensuite usinée. Il s'agit ensuite de mettre en place cette pièce avec un tenon fibré inséré dans le canal et la traversant.(67,68)

II.3.5. Prothèse amovible

Peu d'informations sont à notre disposition dans ce domaine. Cependant, nous avons précédemment limité l'utilisation des empreintes optiques aux arcades complètes avec peu de préparations.

Kattadiyil (69) réalise dans son rapport de cas une prothèse amovible de petite étendue à partir d'une empreinte numérique. Selon lui, on peut appliquer cette méthode d'empreinte dans certains cas réduits :

- Edentements de petite étendue et encastrés
- Pas de nécessité d'enregistrer les tissus mous en dynamique, ni la partie postérieure du palais
- Pas de nécessité d'enregistrer les tissus mous en compression

De nombreuses études sont à réaliser afin d'étoffer et d'étayer ces conclusions. De plus, des améliorations des systèmes d'empreinte numérique devraient permettre d'augmenter les indications en prothèse amovible.

Ainsi nous pouvons dire que les empreintes optiques présentent l'avantage de conserver le flux numérique dans le processus de CFAO. Cependant leurs indications restent encore limitées.

Dans le cas d'empreinte d'arcade partielle elles s'avèrent généralement très performantes voire supérieures aux techniques conventionnelles. Mais dans le cas d'arcades complètes, on peut dire que leur emploi est acceptable si on a peu de préparations.

Elles semblent cependant être insuffisantes dans des cas reconstitutions fixes plus étendues ou de reconstitutions amovibles. De même il y a des améliorations logicielles à attendre dans le cas d'empreinte pour inlay-core.

Enfin l'emploi de technique numérique seule dans des cas complexes nécessitant l'emploi d'un arc facial semble nécessiter encore du matériel trop important pour une utilisation répandue en cabinets privés.

Ces conclusions ne sont que le fruit d'une recherche dans la littérature. Une majorité des études citées ici, ont été réalisées in vitro. Or, on sait que dans ce cas de nombreux facteurs cliniques, ne sont pas pris en compte. Ces études constituent des éléments de réponses qu'il est bon d'investiguer dans des études in vivo. Quelques études réalisées in vivo ont permis de leur accorder du crédit.

Cependant, bien que prenant en compte de nombreux facteurs cliniques, une étude in vivo peut présenter des biais. En effet celles que nous avons citées ont été réalisées sur de petits échantillons. De plus, généralement un seul praticien réalisait l'étude avec une façon de procéder lui étant propre et pouvant engendrer également des biais.

Peu de revues systématiques concernant la qualité des empreintes optiques sont à notre disposition dans la littérature et concernent généralement le domaine implantaire. Il est donc difficile d'établir des certitudes du fait d'un manque de revues systématiques qui permettraient de faire le point sur la valeur des empreintes optiques.

Pour mieux comprendre la place de la caméra optique au sein du cabinet, il semble intéressant de connaître l'avis de nombreux praticiens utilisant ces caméras afin de multiplier les ressentis et les pratiques.

III.Enquête sur l'utilisation de l'empreinte optique au cabinet dentaire

III.1.1. Introduction

Les premières empreintes numériques ont vu le jour dans les années 80.(70,71) Cette technologie a subi de nombreuses évolutions et trouve aujourd'hui des indications dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire. Cependant, elle reste en France très minoritairement distribuée. D'ailleurs peu de données sur la proportion de dentistes français utilisant une caméra numérique sont à notre disposition. Il semblerait cependant que 2-3% des dentistes français possèdent une caméra.(71)

Un chiffre si bas pourrait éventuellement trouver une explication dans des considérations économiques, du fait du prix élevé de ces caméras.

De même une méconnaissance et un défaut d'informations pourrait également en être à l'origine.

Enfin pour un praticien expérimenté, changer un système connu, efficace et pour lequel il a fallu un temps d'apprentissage, pour une technologie inconnue pour laquelle on a peu de recul, semble également être un frein au développement de ces systèmes numériques.(72)

En effet, de nombreuses interrogations quant à la difficulté, au temps de mise en œuvre et à la qualité des empreintes numériques ainsi qu'aux possibilités prothétiques et à la qualité des restaurations qui en découlent, peuvent être soulevées par des praticiens hésitants.

Afin de répondre à ces interrogations, nous avons souhaité connaître la vision des praticiens qui possèdent déjà et utilisent un scanner intra-oral. Nous avons donc réalisé cette enquête à visée descriptive afin de connaître la perception et l'impact de l'acquisition d'une caméra optique sur la pratique prothétique en omnipratique des praticiens français.

III.2. Matériel et méthode

III.2.1. Questionnaire

Nous avons rédigé un questionnaire comportant entre 22 et 26 questions. Selon les réponses à certaines questions, d'autres questions approfondissant le sujet étaient posées ou non. Ces questions sont résumées dans le Tableau 2.

| Nombre de questions | Thème |
|---------------------|---|
| 3 | Informations générales sur la caméra optique utilisée |
| 4 | Renseignement sur la prise en main de la caméra |
| 1 | Type de CFAO utilisée |
| 2 à 4 | Emploi de la caméra en prothèse fixée dento-portée |
| 2 à 4 | Emploi de la caméra optique en prothèse implantaire |
| 1 | Emploi de la caméra optique en prothèse amovible |
| 10 à 11 | Conditions d'utilisation de la caméra |

Tableau 2 Répartition des questions par thème

III.2.2. Diffusion de questionnaire

Le questionnaire a été rédigé par l'intermédiaire de GoogleForm. Cela nous a permis de diffuser l'enquête et de collecter les résultats informatiquement. Le questionnaire était fourni sous la forme d'un lien internet sur lequel il fallait se rendre pour répondre aux questions.

Cette enquête s'adresse à tous les praticiens en chirurgie-dentaire possédant une caméra numérique dans leur cabinet. Comme la Figure 21 le suggère la diffusion du questionnaire s'est fait en deux phases.

Dans un premier temps, nous avons passé des appels téléphoniques aléatoires à des praticiens afin de savoir s'ils utilisaient cette technologie. Lorsque la réponse était positive nous envoyions le lien par mail. Cependant cette méthode s'est avérée fastidieuse. En effet nous avons vu que seuls 2-3% des chirurgiens-dentistes ont cette technologie, de ce fait un bon nombre de nos appels n'aboutissaient pas.

Nous avons donc demandé aux praticiens que nous avions préalablement contactés de nous fournir s'ils le souhaitaient des contacts de praticiens utilisant également une caméra 3D. Grâce à cela nous avons pu augmenter le nombre d'envoi de questionnaires. En effet, certains praticiens ont pu nous fournir plusieurs dizaines de noms et de coordonnées.

Au total, nous avons envoyé 80 questionnaires et obtenu 37 réponses.

Dans un second temps et afin de toucher un panel plus vaste de praticiens concernés par les empreintes numériques, nous avons diffusé le lien sur le blog « CFAO et Empreinte optique » d'IDweblogs. Par ce moyen nous avons obtenu 39 réponses supplémentaires.

Nous avons donc obtenu au total 76 réponses.

Pour le traitement des résultats nous avons exclu 5 réponses pour les raisons suivantes :

- 1 orthodontiste exclusif a répondu au questionnaire
- 3 réponses se sont avérées nulles : questionnaires blancs
- 1 réponse a été éliminée car le résultat avait été doublé : nous avions reçu deux fois exactement les mêmes réponses.

Les données ont donc été traitées sur la base de 71 réponses.

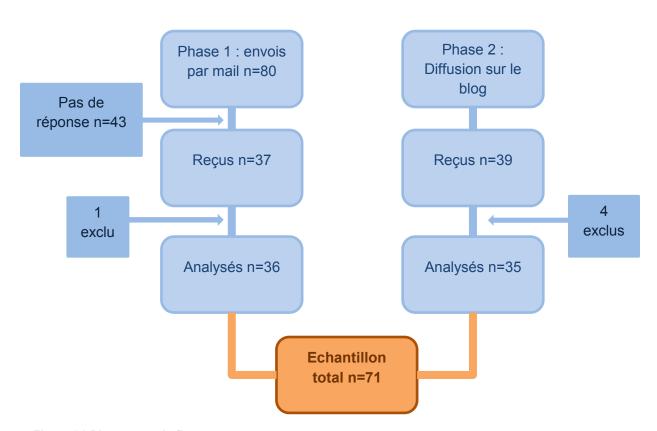


Figure 21 Diagramme de flux

III.3. Résultats

III.3.1. Informations générales

En moyenne les praticiens interrogés possèdent une caméra optique depuis 4 ans et demi, avec un maximum de 11ans et un minimum de 1mois.

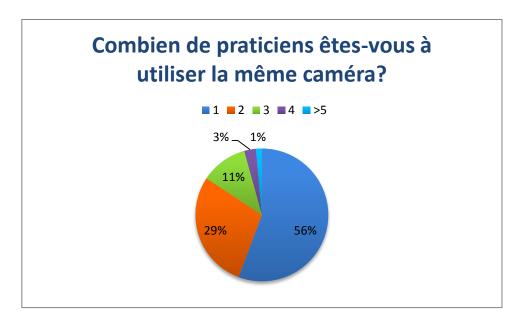


Figure 22 Nombre de praticiens à utiliser la même caméra

De manière générale, 85% des utilisateurs ont une machine pour eux seuls ou à deux (Figure 22).

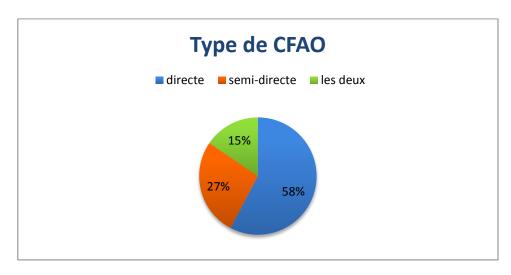


Figure 23 Pourcentage de praticiens ayant recours aux différents types de CFAO

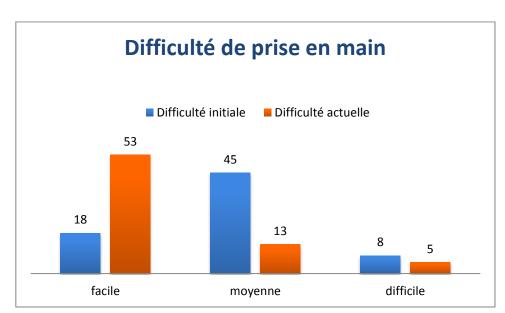
Dans la Figure 23 nous notons une forte prépondérance de la CFAO directe. En effet, nous constatons que 73% de notre échantillon a recours à la CFAO directe dont 58% exclusivement.

Nous avons également pu constater que 47 praticiens (soit 66%) de notre échantillon possèdent un système CEREC. C'est le système d'empreinte optique le plus vendu au monde.(33) Le Tableau 3 montre la répartition de chaque caméra dans notre échantillon. On compte plus de caméras que de praticiens car certains d'entre eux en possèdent plusieurs.

| Système | Nombre de praticiens |
|-------------------------|----------------------|
| Caméra du système CEREC | 47 |
| iTéro | 11 |
| TRIOS | 11 |
| Planscan | 4 |
| Condorscan | 1 |
| Carestream | 1 |

Tableau 3 Nombre de praticiens de notre échantillon utilisant différentes caméras

11 utilisent iTéro et 11 autres Trios de 3Shape. 4 ont la caméra Planscan de Planméca et 1 seul utilise la Condorscan de François Duret et 1 seul utilise la Carestream.



III.3.2. Prise en main

Figure 24 Nombre de praticiens estimant la difficulté initiale et actuelle de leur caméra

Dans la Figure 24 nous pouvons voir que pour 38 praticiens (53.5%) un temps d'apprentissage a été nécessaire et l'utilisation de la caméra est devenue plus aisée avec l'expérience. Pour 31 praticiens (44%), la prise en main de la caméra est restée la même depuis leur première utilisation.

Si pour une majorité des praticiens l'utilisation est aisée, on note que pour 5 d'entre eux elle reste difficile.

Trois praticiens ont insisté sur le rôle du logiciel sur l'utilisation de la caméra et attribuent à ce dernier l'évolution favorable ou non de leur prise en main.

Un praticien a porté à notre attention que pour optimiser la prise d'empreinte optique il était important de respecter le temps de chauffe de la caméra.

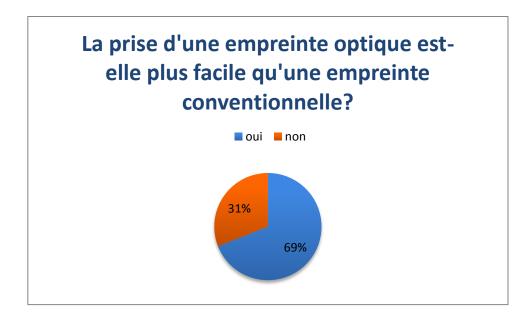


Figure 25 Pourcentage des différentes réponses à la question sur la facilité de mise en œuvre d'une empreinte optique par rapport à une technique conventionnelle.

Comme l'indique la Figure 25, pour 49 des praticiens interrogés (69%) la réalisation d'une empreinte optique est plus facile qu'une empreinte conventionnelle.

Un praticien nous a souligné l'intérêt et la facilité de manœuvre d'une caméra sans poudrage.

Cependant lorsque l'on regarde les données de cette question au regard de l'usage d'une caméra avec poudrage on trouve les mêmes résultats que sur la totalité de l'échantillon. Pour 69% des praticiens utilisant une caméra avec poudrage, l'empreinte optique est plus facile à réaliser qu'une empreinte conventionnelle. L'utilisation d'un système avec poudrage ne semble donc pas avoir d'influence sur la difficulté ressentie des praticiens par rapport à une empreinte conventionnelle.

III.3.3. Temps d'utilisation

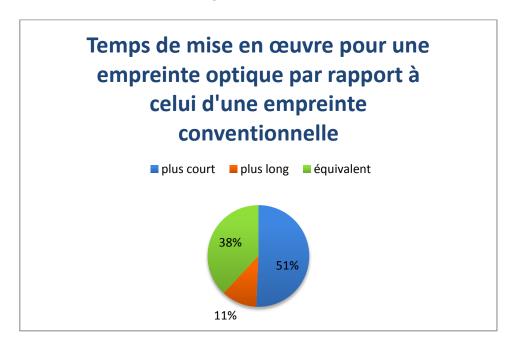


Figure 26 Pourcentage des praticiens estimant le temps de mise en oeuvre d'une empreinte optique par rapport à celui d'une empreinte conventionnelle

La Figure 26 nous apprend que pour 51% des praticiens (soit 36) la prise d'une empreinte optique est plus courte que la prise d'une empreinte conventionnelle.

Pour 38% d'entre eux (soit 28) ce temps de mise en œuvre est équivalent quelle que soit la technique d'empreinte employée.

Pour 11% (soit 9) la prise d'une empreinte numérique et plus longue qu'une empreinte classique.

III.3.4. Pratique prothétique

Près de 99% des praticiens utilisent leur caméra numérique pour réaliser de la prothèse fixe unitaire et odontologie conservatrice et 79% pour de la prothèse fixée plurale.

56

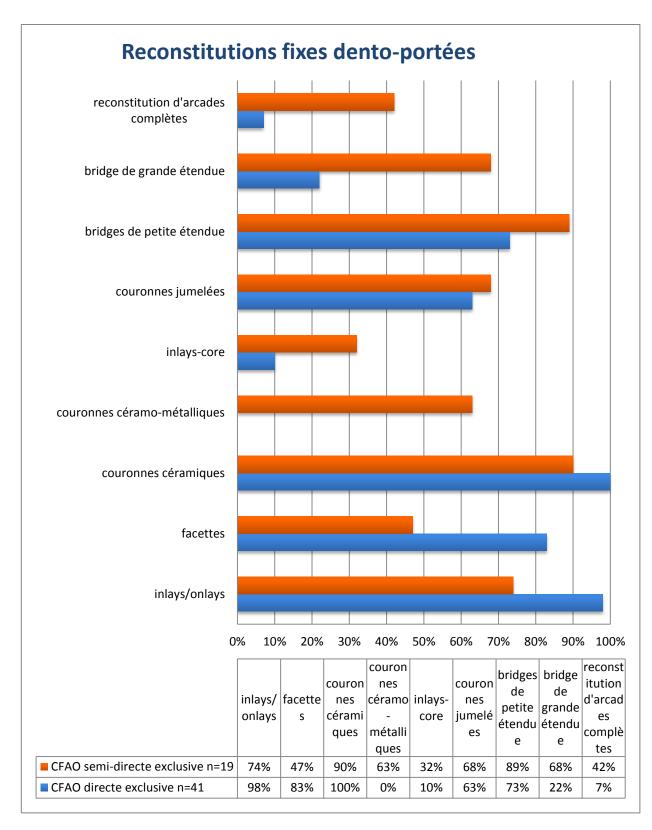


Figure 27 Pourcentage de praticiens réalisant différents types de reconstitutions fixes dentoportées à partir d'une empreinte numérique

Afin de connaître la pratique prothétique en fonction du type de CFAO employée, nous avons exclu des données présentées dans la Figure 27 les praticiens qui utilisaient les deux types de CFAO.

Des praticiens ont également précisé qu'ils utilisaient leur caméra numérique pour :

- La réalisation d'endocouronnes (un praticien)
- La réalisation de couronnes et de bridges provisoires (deux praticiens)
- La conservation de rapports inter-arcades, la production de modèles d'études, la panification implantaire ainsi que la réalisation de guides chirurgicaux (un praticien)

70% des praticiens sondés réalisent des prothèses supra-implantaires. La Figure 28 montre le pourcentage de praticiens réalisant de la prothèse implantaire en fonction du type de prothèse et de CFAO utilisée. De même que dans la figure 27 les données concernant les praticiens utilisant les deux types de CFAO n'ont pas été présentées.

Deux praticiens ont également notifié qu'ils réalisaient des couronnes et bridges provisoires à partir d'empreintes optiques.

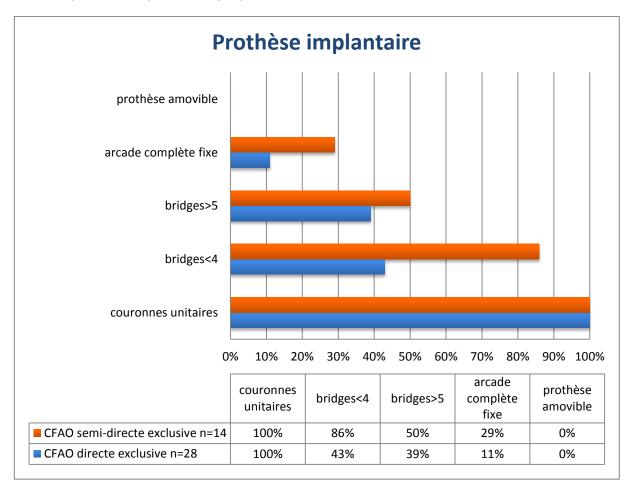


Figure 28 Pourcentage de praticiens réalisant différents types de prothèses fixes implanto-portées à partir d'une empreinte optique

Comme la Figure 29 le montre 95% des praticiens sondés ne réalisent pas de prothèse amovible.



Figure 29 Pourcentages de praticiens réalisant ou non des prothèses amovibles à partir d'une empreinte optique

Plusieurs praticiens ont tenu à porter à notre connaissance certaines informations :

L'un d'eux nous a précisé qu'il était important de respecter le temps de chauffe de la caméra afin d'optimiser la prise d'empreinte.

Un autre nous informe qu'il utilise également sa caméra optique pour la sauvegarde de rapports inter-arcades, la réalisation de modèles d'études ainsi que pour la planification implantaire et la réalisation de guides chirurgicaux.

III.3.5. Nouvelles pratiques

75% des praticiens sondés, la prise d'empreintes numériques permet une réduction du nombre de séances.

Afin de connaître l'impact des différents processus de CFAO sur la réduction du nombre de séances dans le processus prothétique et la relation avec le prothésiste nous avons exclu des données présentées dans les figures 30, 31 et 32 les praticiens ayant recours aux deux types de CFAO.

La Figure 30 nous apprend que l'usage de la CFAO directe a permis à 85% des praticiens de réduire le nombre de séances, tandis que ce n'est le cas que pour 53% des praticiens ayant recours à la CFAO semi-directe.

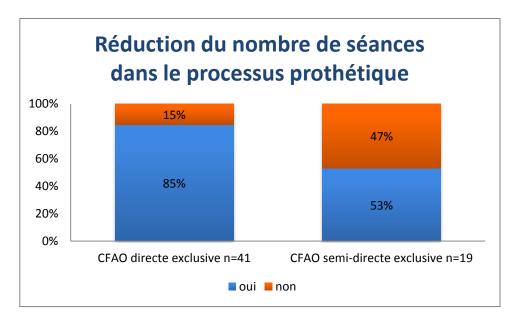


Figure 30 Pourcentages des praticiens estimant que l'empreinte optique leur permet de réduire le nombre de séances en fonction du type de CFAO utilisé.

Pour 70% des praticiens sondés l'acquisition n'a pas permis d'améliorer la communication avec leur prothésiste. La Figure 31 présente le découpage des réponses en fonction du type CFAO utilisé.

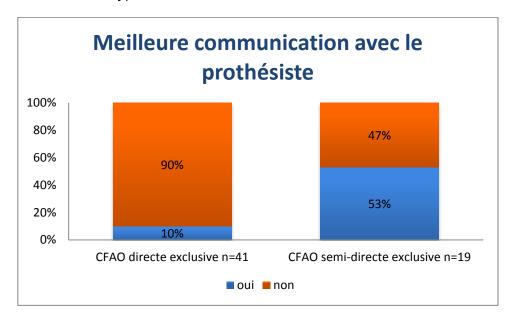


Figure 31 Pourcentage de praticiens pour qui l'acquisition d'une caméra optique a permis une meilleure communication avec leur prothésiste en fonction du type de CFAO utilisé

Pour 77% d'entre eux, le passage à la CFAO n'a pas engendré de changement de prothésiste. La Figure 32 nous apprend qu'il a peu de différence entre les groupes ayant recours à la CFAO directe exclusive et à la CFAO semi-directe exclusive.

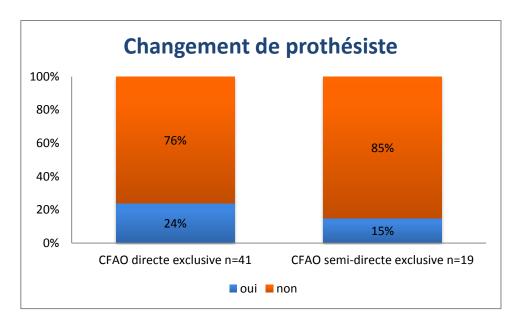


Figure 32 Pourcentage de praticiens pour qui l'acquisition d'une caméra optique les a obligés à changer de prothésiste en fonction du type de CFAO utilisé

Pour 86% des praticiens interrogés, l'utilisation d'un scanner intra-oral permet une meilleure précision des prothèses, tandis que ce n'est pas le cas pour 14% d'entre eux. (Figure 33)

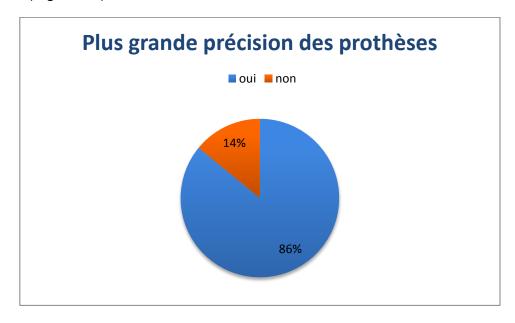


Figure 33 Pourcentage de praticiens estimant que les prothèses réalisées à partir d'une empreinte optique présentent une meilleure qualité ou non que celles réalisées à partir d'une empreinte conventionnelle

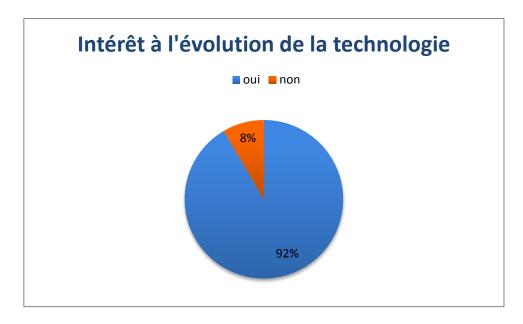


Figure 34 Pourcentage des praticiens s'étant intéressé ou non à l'évolution de la technologie de l'empreinte optique après l'acquisition de leur caméra

Depuis l'acquisition de leur caméra, 92% des praticiens se sont intéressés à l'évolution de cette technologie (Figure 34) et 66% ont élargi leurs indications de prise d'empreinte optique (Figure 35).

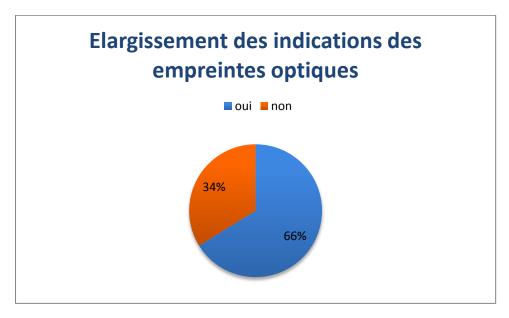


Figure 35 Pourcentage de praticiens qui ont élargi ou non leurs indications d'utilisation d'une caméra optique depuis l'acquisition de leur caméra

De même, pour 79% d'entre eux, cela leur a permis d'amélioré la qualité de leurs préparations (Figure 36).



Figure 36 Pourcentage des praticiens estimant que le recours à une caméra optique a permis ou non d'améliorer la qualité de leur préparation

Pour 25% des praticiens, la fabrication de prothèses à partir d'empreinte optique, donc d'un processus de CFAO entraîne un surcout de fabrication par rapport à un circuit classique (Figure 37). Il est important de noter que ces praticiens possèdent soit une caméra iTéro, soit une TRIOS de 3Shape et pour trois d'entre eux une caméra omnicam de CEREC.

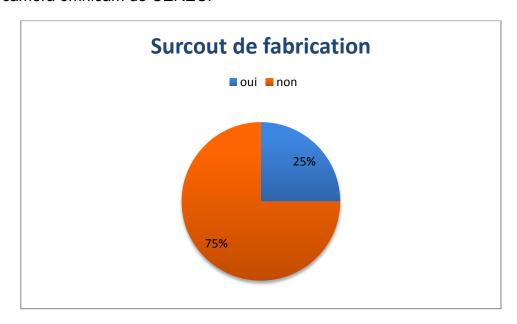


Figure 37 Pourcentage de praticiens pour qui la réalisation de prothèse à partir d'une empreinte optique entraîne ou non un surcout de fabrication

Pour 87% des praticiens sondés, il y a des situations cliniques où la prise d'une empreinte est impossible.(Figure 38)

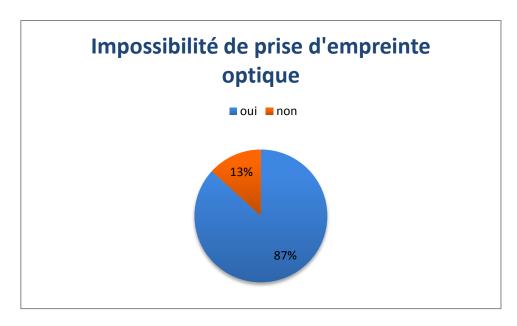


Figure 38 Pourcentage de praticiens pour qui la prise d'empreinte optique peut présenter ou non une impossibilité de mise en oeuvre

Ces situations sont présentées dans la Figure 39 en fonction du nombre de praticiens concernés.

On précise que pour 18 d'entre eux, il y a d'autres situations qui rendent impossible la prise d'empreinte numérique : all on x implantaires ; attachements ; molaires inférieures avec séparation de racines ; édentements importants ; fabrication de modèles ; grande barre implantaire et implants pluraux.

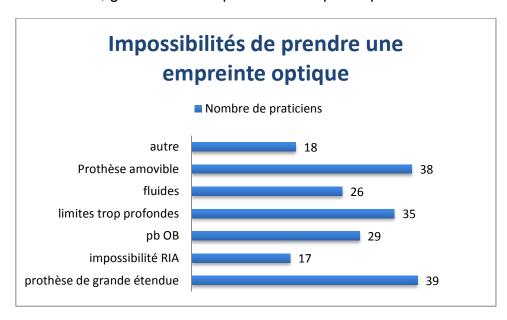


Figure 39 Nombre de praticiens pour qui l'empreinte optique peut s'avérer impossible en fonction des différentes situations cliniques

III.4. Discussion

Nous pouvons dire que cette étude comporte différents biais.

Premièrement, un biais de sélection de notre échantillon peut-être relevé. La phase 2 de la diffusion de notre questionnaire a visé particulièrement des praticiens qui suivaient un blog consacré à la CFAO et aux empreintes optiques. Ainsi on peut supposer qu'ils sont intéressés par cette technologie et donc, ont un a priori favorable à celle-ci, influençant, de ce fait, certaines réponses comme la perception de temps de mise en œuvre ou encore la qualité des prothèses par exemple. Il en est de même, mais dans une moindre mesure, pour les praticiens de la phase 1 où ceux qui ont répondu au questionnaire étaient probablement les plus investis. En effet, lors de la diffusion de la phase 1, nous avons reçus beaucoup de mails de réponse souhaitant apporter des précisions ou bien connaître les résultats de cette enquête.

De plus, l'échantillon total de praticiens est très réduit, et a donc peu de chance d'être réellement représentatif de la population des praticiens français usagers des empreintes optiques.

Malgré ces limitations nous pouvons tout de même interpréter les résultats obtenus.

Premièrement, nous notons que l'utilisation d'une caméra numérique est une activité récente dans les cabinets d'omnipratique puisqu'en moyenne l'acquisition d'une caméra a été réalisée il y a 4 ans et demi.

Les praticiens utilisent majoritairement leur caméra pour leur exercice personnel et la partagent avec un autre praticien dans 29% des cas. Cela semble aller dans le sens d'une activité importante de la caméra qui ne peut donc pas être partagée.

Les caméras les plus répandues parmi notre échantillon appartiennent au système CEREC, qui est en effet le système d'empreinte numérique le plus vendu au monde.(33)

Le CEREC est un système de CFAO directe. Cela explique pourquoi nous avons une forte prédominance de l'emploi de la CFAO directe.

De plus on note que de nombreux praticiens n'ont recours qu'à la CFAO directe. Pourtant le recours à la CFAO semi-directe ne demande pas de matériel supplémentaire. Une explication peut résider dans le fait que le système CEREC est un système fermé. En effet 38 des 41 praticiens qui n'ont recours qu'à la CFAO directe utilisent une caméra CEREC.

Bien qu'il soit possible de transférer les données CEREC au format STL, cela nécessite l'utilisation du portail Sirona Connect (gratuit pour le praticien) ainsi que

l'acquisition par le prothésiste du logiciel inLab (payant pour ce dernier) permettant d'interpréter les données(73). Il semblerait donc que le système Cerec oriente l'usage de ses caméras optiques à la CFAO directe. Les résultats concernant la prothèse fixée semblent corroborer cette hypothèse.

Effectivement on peut remarquer que lors du recours à la CFAO directe exclusivement l'activité prothétique est limitée aux capacités des usineuses de cabinet : les petites pièces prothétiques en céramique jusqu'aux bridges de petite étendue.

Cependant, nous pouvons expliquer le fait que certains praticiens réalisent tout de même des prothèses de plus grande étendue en CFAO directe car il existe des usineuses qui peuvent travailler des pièces prothétiques plus importantes.(74)

De même nous pouvons noter que la CFAO semi-directe permet la réalisation de différents types de prothèses notamment celles contenant des parties métalliques ou de plus grande étendue que celles permises généralement par les usineuses classiques de cabinet dentaire. De ce fait un panel plus important de pièces prothétiques est réalisé avec le recours à la CFAO semi-directe.

Par ailleurs, bien que certains auteurs le déconseillent(47,48), 15 praticiens de notre échantillon réalisent des restaurations complètes fixes dento-portées et 6 implanto-portées à partir d'empreintes numériques. Il serait intéressant de connaître la durée de vie de ces prothèses ainsi que leur adaptation marginale. De même dans la littérature, on trouve un manque de données quant à ces restaurations de grande étendue produites par CFAO directe ou semi-directe.

En revanche très peu de praticiens réalisent des prothèses amovibles à partir d'une empreinte optique.

Ainsi, de manière générale, on peut noter que plus la prothèse est complexe ou d'étendue importante moins les praticiens ont recours à l'empreinte numérique. En effet de nombreux praticiens estiment être dans l'impossibilité de prendre une empreinte numérique dans des cas de restaurations amovibles ou de grande étendue. Ces données sont en accord avec ce qui a été dit dans les premières parties de cette thèse.

Les questions sur la difficulté de prise en main nous apprennent que l'usage d'une caméra optique nécessite une courbe d'apprentissage. On remarque que pour la majorité des praticiens la prise en main de la caméra est aujourd'hui considérée comme « facile ». Dans son article, Lee (72) suggère en effet que la courbe d'apprentissage d'une empreinte numérique est plus favorable que celle d'une empreinte conventionnelle qui demande une plus grande expérience. De plus pour la majorité des praticiens la prise d'empreinte numérique est plus facile que la prise d'empreinte conventionnelle. Pour Lee, ce phénomène est accentué chez les

étudiants qui n'ont pas ou peu d'expérience en matière d'empreintes conventionnelles ou numériques.(72)

De même pour une majorité des praticiens le temps de mise en œuvre est moins important ou équivalent à une empreinte classique. Ces données sont en corrélation avec plusieurs auteurs(25,75).

De plus, pour Lee et Gallucci, avec les empreintes numériques il y a plus de reprises de scan que de reprises d'empreintes conventionnelles. Cela s'explique par le fait que lorsqu'il y a un manque sur un modèle numérique, l'utilisateur n'est pas obligé de reprendre l'intégralité de l'empreinte ce qui est plus généralement le cas avec une empreinte conventionnelle. Cela inciterait même l'usager à faire plus de retouches de ses empreintes numériques et donc à être plus exigent sur la qualité de ces dernières.(75)

Nous notons d'ailleurs que pour plus de la moitié des usagers de CFAO semidirecte exclusivement, le recours à une caméra numérique permet de réduire le nombre de séances lors du processus prothétique. Nous pouvons expliquer cela en partie car il y a moins de demandes de la part du prothésiste de reprendre les empreintes. Plusieurs raison à cela :

- Elles sont validées directement lors de l'enregistrement par le logiciel et le praticien.
- De plus, il semblerait que le praticien accorde une exigence plus importante à la qualité de son empreinte numérique.(75)
- Enfin, pour une majorité des praticiens, l'acquisition d'une caméra optique leur a permis d'améliorer la qualité de leurs préparations : et ce, du fait que l'on peut visualiser directement, en positif, le modèle virtuel.

Il est évident que pour les utilisateurs de CFAO directe, le nombre de séances lors du processus prothétique a diminué. Cependant un praticien a porté à notre attention qu'il passait toujours par une étape de provisoire même en CFAO directe.

La caméra optique a permis une meilleure communication avec leur prothésiste pour près la moitié des praticiens usagers de CFAO semi-directe. On comprend cela car le prothésiste peut avoir accès de suite au modèle virtuel et le visualiser simultanément avec le praticien, donc échanger plus aisément. En revanche la communication ne s'est améliorée avec leur prothésiste que pour une minorité de praticiens usagers de CFAO directe, ceci s'explique par le fait qu'ils ont moins de contacts avec ces derniers du fait d'une demande moins importante.

Pour la majorité des praticiens, l'acquisition d'une caméra optique a entraîné une meilleure qualité des prothèses. On peut expliquer cela, comme nous venons de le voir, par le fait que les praticiens réalisent des empreintes de meilleure qualité, il n'y a pas de déformation dimensionnelle de l'empreinte et enfin la qualité de leur préparations semble également s'être améliorée.

De plus, nous avons vu précédemment que dans certains cas, l'empreinte optique pouvait présenter une précision supérieure aux empreintes conventionnelles ainsi que les processus de fabrication des pièces prothétiques qui s'en suivent.

92% des praticiens de notre échantillon ont continué à s'intéresser à la technologie des empreintes numériques. Cependant ce chiffre peut être influencé par le biais de sélection que nous avons énoncé précédemment.

Il serait intéressant d'aller plus loin dans les investigations en touchant un échantillon plus large de praticiens et en précisant leur pratique prothétique en s'intéressant aux matériaux utilisés pour leur prothèse et à leur mode de fabrication.

III.5. Conclusion de l'enquête

Malgré les limites de cette étude nous pouvons conclure que :

- Le processus de CFAO directe a une incidence directe sur la pratique prothétique engendrée par l'acquisition d'une caméra optique et ce particulièrement lorsqu'il s'agit d'un système fermé qui limite le passage à la CFAO semi-directe.
- Les praticiens ont une perception positive de l'empreinte optique quant à la mise en œuvre et au gain de temps par rapport à l'emploi d'une méthode conventionnelle
- Plus la prothèse à réaliser est complexe ou de grande étendue plus les praticiens s'orientent vers des méthodes conventionnelles
- Les usagers des caméras numériques estiment que l'acquisition de cette technologie leur a permis d'améliorer la qualité de leur préparation et des prothèses qu'il proposent à leurs patients.

Conclusion

Ainsi, la CFAO a permis de nombreuses évolutions au sein de la prothèse dentaire comme notamment l'introduction des céramiques de haute résistance. L'empreinte optique quant à elle, constitue le premier maillon de la chaîne numérique. Elle permet la conservation du flux numérique tout au long de l'élaboration prothétique. Ces processus visent à accélérer et systématiser les chaînes de fabrication ainsi qu'à les contrôler numériquement afin de diminuer les imprécisions. En effet, la réduction du nombre d'étapes et la simplification des chaînes permet de réduire la perte d'information et les sources d'erreurs potentielles.

Bien que le numérique semble être une solution fiable, nous avons pu constater que ces processus présentent des limites importantes qui ne permettent pas encore le remplacement total des méthodes conventionnelles.

Pour les processus de CFAO, des limitations peuvent se retrouver au niveau des logiciels de conception : la gestion des empreintes pour inlay-core en est un exemple. Les différentes techniques de fabrication assistée par ordinateur ont également des limites. Pour les prothèses fixes dento-portées, nous avons vu par exemple que l'adaptation des prothèses produites en CFAO sera liée en partie à la qualité de la préparation. Notons également qu'en cas de reconstitutions esthétiques, l'usinage de blocs de céramiques ne permet pas de remplacer les techniques conventionnelles de céramique stratifiée.

Du côté de l'empreinte optique, nous avons pu voir après examen de la littérature et enquête auprès des praticiens que le domaine de la prothèse amovible est encore dominé par les techniques conventionnelles d'empreintes. En revanche dans le domaine de la prothèse fixée, l'empreinte optique trouve une place importante. On peut noter que ses limites principales sont l'enregistrement d'arcades complètes et le recours à un arc facial. Malgré ses limitations, l'enquête réalisée auprès des praticiens nous montre que l'empreinte optique est utilisée dans de nombreuses indications et qu'elle présente plusieurs avantages, comme une facilité d'utilisation par exemple ou encore une amélioration de la qualité des préparations.

Enfin, même si la technologie numérique présente encore de nombreuses limites, l'enquête nous montre qu'elle a déjà sa place au sein des cabinets dentaires et qu'elle suscite la satisfaction de ses utilisateurs. Il aurait pu être intéressant dans cette étude de connaître l'âge moyen des praticiens afin de savoir si l'empreinte optique et la CFAO sont envisagées plutôt par des praticiens expérimentés ou bien par des jeunes praticiens.

Par ailleurs, bien qu'introduite dans les années 80, la technologie numérique fait toujours ses premiers pas dans le domaine de la prothèse dentaire et n'est pas encore suffisamment mature pour remplacer les techniques conventionnelles. Afin de compléter notre vision de l'empreinte optique il serait intéressant d'enquêter sur les indications actuelles de l'empreinte optique autre qu'au niveau de la prothèse, comme, par exemple, dans le domaine de la chirurgie pré-implantaire.

De plus, dans le but de comprendre pourquoi cette technologie reste peu répandue en France, une enquête pourrait être réalisée auprès des praticiens n'utilisant pas de caméra optique afin de connaître leur ressenti vis-à-vis de cette technologie. De même, une enquête réalisée auprès d'étudiants en chirurgie-dentaire permettrait d'avoir une image de l'enseignement qui leur est fourni sur les techniques numériques.

De nos jours, dans le domaine numérique les avancées sont constantes et rapides. Il y a donc fort à parier que nous verrons de nombreux progrès au sein des chaînes prothétiques numériques dans un futur proche. Il serait, d'ailleurs, pertinent de se pencher sur les nouvelles méthodes de Fabrication Assistée par Ordinateur et notamment les méthodes additives afin de comprendre voire d'anticiper ces évolutions.

.

Bibliographie

- 1. Serres M. Elements d'histoire des sciences. Bordas Culture. 1989.
- 2. i-MB CAD Chronology [Internet]. [cité 21 mai 2015]. Disponible sur: http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD1960.htm
- 3. Duret F. L'empreinte optique ou la Cybernétique Odontologique. Dent News. 1984;1984(40 (01-02)):32-54.
- 4. Andreas Ender. CEREC 4.0 guide clinique. 2011.
- 5. Le guide de la CFAO dentaire [Internet]. CNIF; Disponible sur: http://www.unppd.org/cnifpd/Guide_CFAO.pdf
- 6. Cho S-H, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. J Prosthet Dent. 2015;113(4):310-5.
- 7. tessellation Wiktionnaire [Internet]. [cité 25 sept 2015]. Disponible sur: https://fr.wiktionary.org/wiki/tessellation
- 8. Rudd RW, Rudd KD. A review of 243 errors possible during the fabrication of a removable partial denture: Part II. J Prosthet Dent. 2001;86(3):262-76.
- 9. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M, Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in Computer-Aided Manufacturing in Prosthodontics: A Review of the Available Streams, Trends in Computer-Aided Manufacturing in Prosthodontics: A Review of the Available Streams. Int J Dent Int J Dent. 8 avr 2014;2014, 2014:e783948.
- Roques C. La CFAO dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire et en laboratoire dans la région Midi-Pyrénées en 2013: étude épidémiologique [Internet] [exercice]. Université Toulouse III - Paul Sabatier; 2014 [cité 26 janv 2015]. Disponible sur: http://thesesante.ups-tlse.fr/336/
- Schaefer O, Kuepper H, Thompson GA, Cachovan G, Hefti AF, Guentsch A. Effect of CNC-milling on the marginal and internal fit of dental ceramics: A pilot study. Dent Mater. août 2013;29(8):851-8.
- 12. Almasri R, Drago CJ, Siegel SC, Hardigan PC. Volumetric Misfit in CAD/CAM and Cast Implant Frameworks: A University Laboratory Study: CAD/CAM and Cast Implant Volumetric Misfit. J Prosthodont. juin 2011;20(4):267-74.
- 13. Araújo GM de, França DGB de, Silva Neto JP, Barbosa GAS. Passivity of Conventional and CAD/CAM Fabricated Implant Frameworks. Braz Dent J. juin 2015;26(3):277-83.
- 14. Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, Vult von Steyern P. The fit of cobalt–chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: A comparative in vitro study. Dent Mater. avr 2011;27(4):356-63.
- 15. Patzelt SBM, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing—generated dental casts based on intraoral scanner data. J Am Dent Assoc. nov 2014;145(11):1133-40.

- 16. Tamac E, Toksavul S, Toman M. Clinical marginal and internal adaptation of CAD/CAM milling, laser sintering, and cast metal ceramic crowns. J Prosthet Dent. 2014;112(4):909-13.
- 17. Silva NRFA, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM Process for Dental Prostheses: Robocasting for Dental Prostheses. J Prosthodont. févr 2011;20(2):93-6.
- 18. Kim K-B, Kim J-H, Kim W-C, Kim J-H. In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of three-unit fixed dental prostheses produced by stereolithography. Dent Mater J. 2014;33(4):504-9.
- Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. Dent Mater J. janv 2009;28(1):44-56.
- 20. Kollmuss M, Kist S, Goeke JE, Hickel R, Huth KC. Comparison of chairside and laboratory CAD/CAM to conventional produced all-ceramic crowns regarding morphology, occlusion, and aesthetics. Clin Oral Investig [Internet]. 7 août 2015 [cité 8 sept 2015]; Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/s00784-015-1554-9
- 21. Anil N, Bolay S. Effect of toothbrushing on the material loss, roughness, and color of intrinsically and extrinsically stained porcelain used in metal-ceramic restorations: an in vitro study. Int J Prosthodont. oct 2002;15(5):483-7.
- 22. Aker DA, Aker JR, Sorensen SE. Toothbrush abrasion of color-corrective porcelain stains applied to porcelain-fused-to-metal restorations. J Prosthet Dent. 1980;44(2):161-3.
- 23. Syrek A RG. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. J Dent. juill 2010;38(7):553-9.
- 24. Almeida e Silva JS, Erdelt K, Edelhoff D, Araújo É, Stimmelmayr M, Vieira LCC, et al. Marginal and internal fit of four-unit zirconia fixed dental prostheses based on digital and conventional impression techniques. Clin Oral Investig. mars 2014;18(2):515-23.
- 25. Patzelt SBM, Lamprinos C, Stampf S, Att W. The time efficiency of intraoral scanners. J Am Dent Assoc. juin 2014;145(6):542-51.
- 26. Pradíes G, Zarauz C, Valverde A, Ferreiroa A, Martínez-Rus F. Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. J Dent. févr 2015;43(2):201-8.
- 27. Rohanian A, Shabestari GO, Zeighami S, Samadi MJ, Shamshiri AR. Effect of Storage Time of Extended-Pour and Conventional Alginate Impressions on Dimensional Accuracy of Casts. J Dent Tehran Univ Med Sci. 2014;11(6):655-64.
- 28. Poticny DJ, Klim J. CAD/CAM in-office technology: innovations after 25 years for predictable, esthetic outcomes. J Am Dent Assoc. 2010;141:5S 9S.
- 29. Thongthammachat S, Moore BK, Barco MT, Hovijitra S, Brown DT, Andres CJ. Dimensional accuracy of dental casts: Influence of tray material, impression material, and time. J Prosthodont. juin 2002;11(2):98-108.

- 30. Hoyos A, Söderholm K-J. Influence of Tray Rigidity and Impression Technique on Accuracy of Polyvinyl Siloxane Impressions. Int J Prosthodont. janv 2011;24(1):49-54.
- 31. Nishi Y, Hamano T, Kawahata N, Nagaoka E. Displacement of a mobile tooth during impression procedure: effect of impression tray design. J Oral Rehabil. juill 1998;25(7):553-9.
- 32. Encyclopédie Larousse en ligne prise d'empreinte dentaire [Internet]. [cité 3 avr 2015]. Disponible sur: http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/prise_d_empreinte_dentaire/12755
- 33. Duret F, Pélissier B. Différentes méthodes d'empreinte en CFAO dentaire. 2010 Elsevier Masson SAS [Internet]. Disponible sur: https://www-em--premium-com.docadis.ups-tlse.fr/showarticlefile/250936/28-38844 plus.pdf
- 34. Boucharlat gilles. Dispositifs à transfert de charges (CCD). 10/02/2006.
- 35. Gamal AE, Eltoukhy H. CMOS image sensors. Circuits Devices Mag IEEE. 2005;21(3):6-20.
- 36. Nilsson F. Intelligent network video: understanding modern video surveillance systems. Boca Raton: CRC Press; 2009. 389 p.
- 37. Ting-shu S, Jian S. Intraoral Digital Impression Technique: A Review. J Prosthodont [Internet]. 1 sept 2014 [cité 21 janv 2015]; Disponible sur: https://onlinelibrary-wiley-com.docadis.ups-tlse.fr/doi/10.1111/jopr.12218/abstract
- 38. Kurz M, Attin T, Mehl A. Influence of material surface on the scanning error of a powder-free 3D measuring system. Clin Oral Investig. 7 mars 2015;
- 39. Frigerio F. 3-dimensional surface imaging using Active Wavefront Sampling [Internet] [Thesis]. Massachusetts Institute of Technology; 2006 [cité 30 mars 2015]. Disponible sur: http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/38258
- 40. Ouadour-Abbar M. Principe de tomographie et spectro-tomographie optique de cohérence par intercorrélation sans balayage basée sur un réseau de diffraction. 2009.
- 41. Wenliang G. Parallel Mode Confocal System for Wafer Bump Inspection.
- 42. Moussally C, Cazier S, Attal JP. L'empreinte optique. Alternatives; 2007.
- 43. Rousseau J-J, Velay B. Indicatrice d'intensité en émission [Internet]. [cité 28 avr 2015]. Disponible sur: http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/diode.html
- 44. Landwerlin O. CFAO Dentaire et empreinte optique : les caméras au banc d'essai. Le fil dentaire. 4 déc 2014;
- 45. Ahrberg D, Lauer HC, Ahrberg M, Weigl P. Evaluation of fit and efficiency of CAD/CAM fabricated all-ceramic restorations based on direct and indirect digitalization: a double-blinded, randomized clinical trial. Clin Oral Investig [Internet]. 14 juin 2015 [cité 2 sept 2015]; Disponible sur: http://link.springer.com/10.1007/s00784-015-1504-6
- 46. ISO 5725-1:1994 Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure -- Partie 1: Principes généraux et définitions [Internet]. [cité 22 août 2015]. Disponible sur: http://www.iso.org/iso/fr/catalogue detail.htm?csnumber=11833

- 47. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: a new method of measuring trueness and precision. J Prosthet Dent. 2013;109(2):121-8.
- 48. Patzelt SBM, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub JR, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. Clin Oral Investig. juill 2014;18(6):1687-94.
- 49. van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. PloS One. 2012;7(8):e43312.
- 50. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. Clin Oral Investig. sept 2013;17(7):1759-64.
- 51. Patzelt SB, Vonau S, Stampf S, Att W. Assessing the feasibility and accuracy of digitizing edentulous jaws. J Am Dent Assoc. 2013;144(8):914-20.
- 52. Abdel-Azim T, Rogers K, Elathamna E, Zandinejad A, Metz M, Morton D. Comparison of the marginal fit of lithium disilicate crowns fabricated with CAD/CAM technology by using conventional impressions and two intraoral digital scanners. J Prosthet Dent [Internet]. 2015 [cité 2 sept 2015]; Disponible sur: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022391315001808
- 53. Svanborg P, Skjerven H, Carlsson P, Eliasson A, Karlsson S, Ö, et al. Marginal and Internal Fit of Cobalt-Chromium Fixed Dental Prostheses Generated from Digital and Conventional Impressions, Marginal and Internal Fit of Cobalt-Chromium Fixed Dental Prostheses Generated from Digital and Conventional Impressions. Int J Dent Int J Dent. 3 mars 2014;2014, 2014:e534382.
- 54. Brawek PK, Wolfart S, Endres L, Kirsten A, Reich S. The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow—the comparison of two systems. Clin Oral Investig. déc 2013;17(9):2119-25.
- 55. Tamim H, Skjerven H, Ekfeldt A, Rønold H. Clinical Evaluation of CAD/CAM Metal-Ceramic Posterior Crowns Fabricated from Intraoral Digital Impressions. Int J Prosthodont. juill 2014;27(4):331-7.
- 56. Schaefer O, Decker M, Wittstock F, Kuepper H, Guentsch A. Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. J Dent. juin 2014;42(6):677-83.
- 57. Kim S-Y, Lee S-H, Cho S-K, Jeong C-M, Jeon Y-C, Yun M-J, et al. Comparison of the accuracy of digitally fabricated polyurethane model and conventional gypsum model. J Adv Prosthodont. 2014;6(1):1.
- 58. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. Quintessence Int. janv 2015;46(1):9-17.
- 59. Güth J-F, Keul C, Stimmelmayr M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. Clin Oral Investig. mai 2013;17(4):1201-8.
- Papaspyridakos P, Chen C-J, Gallucci G, Doukoudakis A, Weber H-P, Chronopoulos V. Accuracy of Implant Impressions for Partially and Completely Edentulous Patients: A Systematic Review. Int J Oral Maxillofac Implants. juill 2014;29(4):836-45.

- 61. Moreira AHJ, Rodrigues NF, Pinho ACM, Fonseca JC, Vilaça JL. Accuracy Comparison of Implant Impression Techniques: A Systematic Review: Accuracy of Implant Impression Techniques. Clin Implant Dent Relat Res. avr 2015;n/a n/a.
- 62. Hämmerle CHF, Cordaro L, van Assche N, Benic GI, Bornstein M, Gamper F, et al. Digital technologies to support planning, treatment, and fabrication processes and outcome assessments in implant dentistry. Summary and consensus statements. The 4th EAO consensus conference 2015. Clin Oral Implants Res. sept 2015;26:97-101.
- 63. Güth J-F, Edelhoff D, Ihloff H, Mast G. Complete mouth rehabilitation after transposition osteotomy based on intraoral scanning: An experimental approach. J Prosthet Dent. 2014;112(2):89-93.
- 64. Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, Etxaniz O. Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator. J Prosthet Dent. 2013;109(6):411-4.
- 65. Prise d'empreinte: une solution intégrale qui vous rapproche de votre prothésiste. bnext; 2013.
- 66. Soenen A, Le Gac O, Sireix C. L'empreinte optique intra-buccale au service de la CFAO semi-directe en clinique. 5 déc 2014;
- 67. Lee J-HD. Accelerated techniques for a post and core and a crown restoration with intraoral digital scanners and CAD/CAM and rapid prototyping. J Prosthet Dent. nov 2014;112(5):1024-9.
- 68. Lee J-H, Sohn D-S, Lee C-H. Fabricating a fiber-reinforced post and zirconia core with CAD/CAM technology. J Prosthet Dent. 2014;112(3):683-5.
- 69. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. J Prosthet Dent. sept 2014;112(3):444-8.
- 70. Mörmann WH. The evolution of the CEREC system. J Am Dent Assoc 1939. sept 2006;137 Suppl:7S 13S.
- 71. Leriche T. De l'empreinte optique à la prothèse Le tout numérique [Internet]. COEFI. [cité 10 sept 2015]. Disponible sur: http://www.coefi.fr/comptes-rendus/lempreinte-optique
- 72. Lee SJ, MacArthur RX, Gallucci GO. An evaluation of student and clinician perception of digital and conventional implant impressions. J Prosthet Dent. 2013;110(5):420-3.
- 73. Empreintes Optiques avec Sirona Connect | Sirona Dental [Internet]. [cité 2 oct 2015]. Disponible sur: http://www.sirona.fr/fr/produits/dentisterie-numerique/sirona-connect/?tab=3444
- 74. Nouveaux produits CAD/CAM | Sirona Dental [Internet]. [cité 29 sept 2015]. Disponible sur: http://www.sirona.fr/fr/produits/dentisterie-numerique/nouveaux-produits-cad-cam/
- 75. Lee SJ, Gallucci GO. Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. Clin Oral Implants Res. janv 2013;24(1):111-5.

- 76. Lava COS Technical Data Sheet lava-cos-technical-data-sheet.pdf [Internet]. [cité 6 oct 2015]. Disponible sur: http://multimedia.3m.com/mws/media/632323O/lava-costechnical-data-sheet.pdf
- 77. planworld_2014_fr.pdf [Internet]. [cité 7 oct 2015]. Disponible sur: http://www.planmeca.com/globalassets/pdf/planworld_2014_fr.pdf
- 78. iTero Intraoral Scanner [Internet]. [cité 7 oct 2015]. Disponible sur: http://www.itero.com/

Table des illustrations

| FIGURE 1 CAPTURE D'ECRAN D'UNE ETAPE DE CONCEPTION DU LOGICIEL CEREC(4) | |
|---|-----|
| FIGURE 2 PROCESSUS DE CFAO | |
| FIGURE 3 UNE FRAISE USEE PEUT ENGENDRER UN DEFAUT DE PREPARATION AU NIVEA | |
| DE L'INTRADOS DE LA PROTHESE (14) | 19 |
| FIGURE 4 LORSQUE LES ANGLES SONT TROP VIFS POUR LE DIAMETRE DE LA FRAISE DE | :UX |
| TYPES D'ERREURS PEUVENT SE PRODUIRE; DES ERREURS NEGATIVES AVEC UN | |
| USINAGE TROP IMPORTANT DE L'ANGLE (B) OU DES ERREURS POSITIVES AVEC UNE | Ξ |
| SOUS PREPARATION (C)(9) | 19 |
| FIGURE 5 IMAGE CEREC | |
| FIGURE 6 IMPRESSION 3D(9) | 21 |
| FIGURE 7 LE FAISCEAU LASER POLYMERISE LES DIFFERENTES STRATES DE RESINE | |
| LIQUIDE(9) | |
| FIGURE 8 LE FAISCEAU LASER N'ENTRAINE PAS UNE FUSION TOTALE DES PARTICULES I | DΕ |
| POUDRE METALLIQUE(A) ET ENTRAINE UNE POROSITE DE LA PIECE FINALE(B).(9) | 22 |
| FIGURE 9 (A) SURFACE IDEALE D'UNE RESTAURATION (B) LORSQUE L'EPAISSEUR DES | |
| COUCHES EST IMPORTANTE CELA ENTRAINE DES IMPRECISIONS, PARTICULIEREME | :NT |
| AU NIVEAU DES SURFACES OCCLUSALES(C) ET (D) PLUS LES COUCHES SONT FINES | 3 |
| PLUS LES RELIEFS DE LA PROTHESE SERONT PRECIS(9) | 23 |
| FIGURE 10 SCHEMA DES PROCESSUS PROTHETIQUES | 27 |
| FIGURE 11 CAMERA BLUECAM DE SIRONA A GAUCHE ET CAMERA OMNICAM DE SIRONE A | Α |
| DROITE(74) | 33 |
| FIGURE 12 MONTAGE OPTIQUE DE TRIANGULATION(33) | 33 |
| FIGURE 13 LORSQUE QUE L'OBJET SE SITUE DANS LE PLAN FOCAL IL APPARAIT NET (HA | UT) |
| ET EN DEHORS IL EST FLOU (BAS)(39) | |
| FIGURE 14 CAMERA LAVA C.O.S. DE LAVA(76) | |
| FIGURE 15 . PRINCIPE DE LA TOMOGRAPHIE OPTIQUE DE COHERENCE. DANS LE CAS D'U | |
| EMPREINTE OPTIQUE ON REMPLACE LE MIROIR ISSU DU BRAS ECHANTILLON PAR U | |
| OBJET BIOLOGIQUE A SAVOIR LES TISSUS BUCCO-DENTAIRES(40) | |
| FIGURE 16 CAMERA PLANSCAN DE PLANMECA(77) | |
| FIGURE 17 MONTAGE OPTIQUE DE LA TECHNIQUE DE PARALLELE CONFOCALE(41) | |
| FIGURE 18 CAMERA ITERO DE CADENT(78) | 38 |
| FIGURE 19 ILLUSTRATION DES ERREURS POSSIBLES LORSQU'UNE COUCHE D'EAU EST | |
| DEPOSEE SUR LE RELIEF(38) | 39 |
| FIGURE 20 ILLUSTRATION DES DEFORMATIONS POSSIBLES LORS DE LA PRISE D'UNE | |
| EMPREINTE D'ARCADE COMPLETE(48) | |
| FIGURE 21 DIAGRAMME DE FLUX | |
| FIGURE 22 NOMBRE DE PRATICIENS A UTILISER LA MEME CAMERA | - |
| FIGURE 23 POURCENTAGE DE PRATICIENS AYANT RECOURS AUX DIFFERENTS TYPES D | |
| CFAO | |
| FIGURE 24 NOMBRE DE PRATICIENS ESTIMANT LA DIFFICULTE INITIALE ET ACTUELLE DE | |
| LEUR CAMERA | |
| FIGURE 25 POURCENTAGE DES DIFFERENTES REPONSES A LA QUESTION SUR LA FACIL | ITE |
| DE MISE EN ŒUVRE D'UNE EMPREINTE OPTIQUE PAR RAPPORT A UNE TECHNIQUE | |
| CONVENTIONNELLE. | 54 |
| FIGURE 26 POURCENTAGE DES PRATICIENS ESTIMANT LE TEMPS DE MISE EN OEUVRE | |
| D'UNE EMPREINTE OPTIQUE PAR RAPPORT A CELUI D'UNE EMPREINTE | |
| CONVENTIONNELLE | 55 |

| FIGURE 27 POURCENTAGE DE PRATICIENS REALISANT DIFFERENTS TYPES DE |
|---|
| RECONSTITUTIONS FIXES DENTO-PORTEES A PARTIR D'UNE EMPREINTE NUMERIQUE |
| 56 |
| FIGURE 28 POURCENTAGE DE PRATICIENS REALISANT DIFFERENTS TYPES DE PROTHESES |
| FIXES IMPLANTO-PORTEES A PARTIR D'UNE EMPREINTE OPTIQUE |
| FIGURE 29 POURCENTAGES DE PRATICIENS REALISANT OU NON DES PROTHESES |
| AMOVIBLES A PARTIR D'UNE EMPREINTE OPTIQUE58 |
| FIGURE 30 POURCENTAGES DES PRATICIENS ESTIMANT QUE L'EMPREINTE OPTIQUE LEUR |
| PERMET DE REDUIRE LE NOMBRE DE SEANCES EN FONCTION DU TYPE DE CFAO |
| UTILISE59 |
| FIGURE 31 POURCENTAGE DE PRATICIENS POUR QUI L'ACQUISITION D'UNE CAMERA |
| OPTIQUE A PERMIS UNE MEILLEURE COMMUNICATION AVEC LEUR PROTHESISTE EN |
| FONCTION DU TYPE DE CFAO UTILISE59 |
| FIGURE 32 POURCENTAGE DE PRATICIENS POUR QUI L'ACQUISITION D'UNE CAMERA |
| OPTIQUE LES A OBLIGES A CHANGER DE PROTHESISTE EN FONCTION DU TYPE DE |
| CFAO UTILISE |
| FIGURE 33 POURCENTAGE DE PRATICIENS ESTIMANT QUE LES PROTHESES REALISEES A |
| PARTIR D'UNE EMPREINTE OPTIQUE PRESENTENT UNE MEILLEURE QUALITE OU NON |
| QUE CELLES REALISEES A PARTIR D'UNE EMPREINTE CONVENTIONNELLE |
| FIGURE 34 POURCENTAGE DES PRATICIENS S'ETANT INTERESSE OU NON A L'EVOLUTION |
| DE LA TECHNOLOGIE DE L'EMPREINTE OPTIQUE APRES L'ACQUISITION DE LEUR |
| CAMERA61 |
| FIGURE 35 POURCENTAGE DE PRATICIENS QUI ONT ELARGI OU NON LEURS INDICATIONS |
| D'UTILISATION D'UNE CAMERA OPTIQUE DEPUIS L'ACQUISITION DE LEUR CAMERA 61 |
| FIGURE 36 POURCENTAGE DES PRATICIENS ESTIMANT QUE LE RECOURS A UNE CAMERA |
| OPTIQUE A PERMIS OU NON D'AMELIORER LA QUALITE DE LEUR PREPARATION 62 |
| FIGURE 37 POURCENTAGE DE PRATICIENS POUR QUI LA REALISATION DE PROTHESE A |
| PARTIR D'UNE EMPREINTE OPTIQUE ENTRAINE OU NON UN SURCOUT DE FABRICATION |
| 62 |
| FIGURE 38 POURCENTAGE DE PRATICIENS POUR QUI LA PRISE D'EMPREINTE OPTIQUE |
| PEUT PRESENTER OU NON UNE IMPOSSIBILITE DE MISE EN OEUVRE |
| FIGURE 39 NOMBRE DE PRATICIENS POUR QUI L'EMPREINTE OPTIQUE PEUT S'AVERER |
| IMPOSSIBLE EN FONCTION DES DIFFERENTES SITUATIONS CLINIQUES |

Tableaux

| TABLEAU 1 ADAPTATION DE LA TECHNIQUE DE FABRICATION SELON LA PIECE | |
|--|----|
| PROTHETIQUE REALISEE ET LE MATERIAU. ⊕= TECHNIQUE PEU ADAPTEE ⊕= | |
| TECHNIQUE ADAPTEE ©©= TECHNIQUE BIEN ADAPTEE | 24 |
| TABLEAU 2 REPARTITION DES QUESTIONS PAR THEME | 50 |
| TABLEAU 3 NOMBRE DE PRATICIENS DE NOTRE ECHANTILLON UTILISANT DIFFERENTE | S |
| CAMERAS | 53 |

Annexes

Enquête sur l'utilisation de la caméra optique en cabinet

- Quel type de caméra utilisez-vous?
- Depuis combien de temps utilisez-vous une caméra 3D?
- Combien de praticiens êtes-vous à utiliser la même caméra?
- 1 2 3 4 >5
- Comment noteriez-vous la difficulté de prise en main initiale de votre caméra?

Sur une échelle de 1 à 3; 1 correspondant au degré le plus facile

- Et aujourd'hui, comment notez-vous la prise en main de votre caméra? Sur une échelle de 1 à 3; 1 correspondant au degré le plus facile
- Comment s'est passée cette progression?
- Pensez-vous qu'il est plus facile de réaliser une empreinte optique qu'une empreinte classique?

OUI NON

- Diriez-vous que le temps de mise en oeuvre d'une empreinte optique est:
- -plus court que pour une empreinte conventionnelle
- -plus long que pour une empreinte conventionnelle
- -équivalent à la prise d'une empreinte traditionnelle
- Quel type de CFAO utilisez-vous?
- -CFAO directe
- -CFAO semi-directe

| Réalisez-vous des empreintes optiques pour de la prothèse fixe unitaire sur dents ou de la restauration conservatrice? Oui Non |
|---|
| Pour quel type de prothèse? Inlays/Onlays |
| -Facettes |
| -Couronnes céramo-céramiques unitaires |
| -Couronnes céramo-métalliques unitaires |
| -Inlays-core |
| -Other |
| |
| Réalisez-vous des empreintes optiques pour de la prothèse fixe plurale sur dents? Oui Non |
| dents? |
| dents? Oui Non • Pour quel type de prothèse? |
| dents? Oui Non • Pour quel type de prothèse? -Couronnes jumelées |
| dents? Oui Non • Pour quel type de prothèse? -Couronnes jumelées -Bridges de petite étendue (jusqu'à 4 éléments) |
| dents? Oui Non • Pour quel type de prothèse? -Couronnes jumelées -Bridges de petite étendue (jusqu'à 4 éléments) -Bridges de grande étendue (à partir de 5 éléments) |

Oui

Non

 Réalisez-vous des empreintes optiques pour de la reconstitution implantaire?

Oui Non

- Pour quel type de prothèse implantaire?
- -Couronnes unitaires
- -Bridges de petite étendue (< ou = 4 éléments)
- -Bridges de grande étendue (plus de 4 éléments)
- -Reconstitution d'une arcade complète sur implants
- -Prothèse amovible
- Dans quels cas privilégiez-vous la prise d'empreinte conventionnelle?
- -inlays-core
- -inlays/onlays
- -facettes
- -couronnes antèrieures
- -prothèse fixe dento-portée unitaire ou de petite étendue
- -prothèse fixe dento-portée de grande étendue
- -prothèse fixe implanto-portée unitaire ou de petite étendue
- -prothèse fixe implanto-portée de grande étendue
- -prothèse amovible partielle ou complète
- L'utilisation d'une caméra optique vous permet-elle de réduire le nombre de séances lors du procédé prothétique?

Oui Non

• Diriez-vous que l'acquisition de votre caméra optique a amélioré la communication avec votre prothésiste?

Oui Non

L'acquisition de votre caméra vous a-t-elle obligé à changer de prothésiste?
 Oui Non

• Diriez-vous que les prothèses réalisées à partir des empreintes optiques présentent une plus grande précision?

Oui Non

• Depuis l'acquisition de votre caméra optique, vous êtes-vous intéressé de près à l'évolution de cette technologie et de ses indications?

Oui Non

• Dans votre pratique, avez-vous élargi vos indications d'empreintes optiques depuis l'acquisition de votre caméra?

Oui Non

 Diriez-vous que la caméra optique vous a aidé à améliorer la qualité de vos préparations?

Oui Non

• Les prothèses produites à partir de la CFAO entraînent-elles un surcoût de fabrication?

Oui Non

• Il y a-t-il des situations où la réalisation d'une empreinte optique vous est impossible?

Oui Non

- Lesquelles?
- -prothèse de grande étendue
- -impossibilité d'enregistrer les rapports occlusaux
- -problème d'ouverture buccale de certains patients
- -limites de préparations trop profondes
- -présence de fluides compromettant la prise d'empreinte (trop de sang, trop de salive...)
- -prothèse amovible

BIE CLEMENTINE Thèse: 2015-TOU3-3069

L'EMPREINTE OPTIQUE AU CABINET DENTAIRE.

RESUME EN FRANÇAIS:

Aujourd'hui, les technologies numériques connaissent un essor dans le domaine de la dentisterie et notamment en prothèse. Les chaînes prothétiques se numérisent et une nouvelle méthode d'empreinte est apparue : l'empreinte optique. L'objectif de ce travail est de tenter de connaître sa place au sein des différents processus prothétiques conventionnels et numériques. De même nous explorons, la qualité de ses empreintes et leurs limites. Nous terminons par une enquête réalisée auprès de praticiens qui utilisent déjà les empreintes optiques afin d'évaluer, leur perception de cette technologie ainsi que leur satisfaction. Nous souhaitons également connaître la pratique prothétique engendrée par l'empreinte optique ainsi que les processus de fabrication utilisés en aval de celle-ci

TITRE EN ANGLAIS: DIGITAL IMPRESSIONS IN PRIVATE PRATICES

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE: CHIRURGIE DENTAIRE

MOTS CLES: Empreinte optique, CFAO, prothèse dentaire

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR :

UNIVERSITE TOULOUSE III-PAUL SABATIER
Faculté de Chirurgie Dentaire
3, chemin des Maraîchers
31062 TOULOUSE CEDEX 9

DIRECTEUR DE THESE: Docteur Antoine GALIBOURG