

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2013

N°:

LES EMPREINTES OPTIQUES AU CABINET DENTAIRE

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE
DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée

et soutenue publiquement par

Guillaume Jouanjan

Né le 02/02/1987 à Tours

le 22 Octobre 2013 devant le jury ci-dessous:

Président : Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI

Assesseur : Monsieur le Docteur François BODIC

Assesseur : Monsieur le Docteur Pierre-Yves GRALL

Directeur : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Par délibération, en date du 6 septembre 1972, le conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Bernard GIUMELLI

Professeur des Universités,

Chef du Département de Prothèses,

Patricien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignements et de Recherches Dentaires.

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

Pour vos enseignements cliniques et théoriques dispensés tout au long de mes études et votre disponibilité.

Veillez recevoir le témoignage de ma gratitude et de mon plus profond respect

A Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Doyen de la faculté de Chirurgie-Dentaire de Nantes,
Professeur des universités,
Chef du Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale,
Patricien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignements et de Recherches Dentaires.

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse.

Pour vos enseignements, vos conseils et votre soutien tout au long de mon cursus.

Veillez accepter mes plus profonds remerciements et tout mon respect.

A Monsieur le Docteur François BODIC

Maître de conférences des Universités,

Docteur de l'Université de Nantes

Patricien Hospitalier des Centres de Soins, d'Enseignements et de Recherches Dentaires.

Département de Prothèses.

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de siéger au sein de ce jury de thèse.

Pour la qualité de vos enseignements et votre accessibilité.

Veillez recevoir ma gratitude et mon respect.

A Monsieur le Docteur Pierre-Yves GRALL

Chargé d'enseignement en clinique

Docteur en chirurgie dentaire

Département de Prothèses

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur de participer à l'élaboration de cette thèse.

Pour votre disponibilité et votre rigueur avec les étudiants.

Veillez accepter mes remerciements les plus sincères.

A mes parents, pour m'avoir toujours accompagné et encouragé afin de pouvoir exercer ce métier dont ils m'ont transmis la passion.

A ma soeur Soizic et mon frère Antoine, pour avoir toujours été là, affectueux merci de votre petit frère, merci pour votre générosité et tous ces grands moments en famille.

A mon grand-père, pour tous ces moments passés ensemble ces dernières années et surtout pour m'avoir gâté avec ces repas toujours exceptionnels.

Aux 3F, pour m'avoir accueilli à Tours et Capo, vous êtes une famille formidable.

A Patricia, merci de m'avoir confié tes patients pendant cette dernière année d'étude.

A Charlotte, Damien, François, Maxime et Paul, pour toutes ces années pleines de souvenirs, les soirées animées même à la maison de retraite, les descentes de pistes à Val d'Isère avec captain Dameuse et M. Touchouss et les fins de soirées «ramène tes voisins» avec Polo et Baleine.

A Lapinou, Antoine, Olivier, Soizic, Margaux et Romain B, pour tous ces moments à la Baule, aux multiples soirées chez Romain G, à Brulon.

A Lise, Alexandra, Annick, Julie, Lucie, Pauline, Marie-Pauline, Julien, Simon et Pierre, pour tous ces moments partagés durant ces sept dernières années.

A Pauline, Kellie, Marine, Etienne, Guillaume et Nicolas, pour toutes ces soirées à Tours.

A Simon et Pierre pour la cour des miracles, Claire, Vico, Maverick et la Bouchère, pour ce Crit inoubliable.

Introduction :	4
I. Qu'est ce que la CFAO ? (15)	4
II. De l'industrie à la chirurgie-dentaire (15)	4
III. De la création à la commercialisation (1970-2012) (17-18-10-11-31-14)	5
A. De 1970 à 1990	5
B. De 1990 à 2000	6
C .De 2000 à 2013	6
IV. Les trois étapes de la CFAO (17-14)	7
A. Acquisition des données (13-38-23-5)	8
i. Méthode directe par triangulation.	9
ii. Méthode directe par triangulation en lumière structurée.	10
iii. Méthode indirecte en lumière active ou structurée	12
iv. Méthode de focalisation-défocalisation colinéaire ou AWS (Lava C.O.S.)	15
v. Système iTero (parallèle confocale)	16
A. Conception (38-12)	17
B. Fabrication (38-35-40-27)	19
i. Par soustraction	21
ii. Par addition	22
V. Les principaux systèmes	26
A. CEREC (19-30-36-28)	26
i. Prise en main	26

ii. Acquisition de l'image	27
iii. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO	28
iv. Empreinte antagoniste et enregistrement de l'occlusion	28
v. Devenir de l'empreinte	29
vi. Matériaux	30
B. iTero (6-9-28)	33
i. Prise en main	33
ii. Acquisition de l'image	34
iii. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO	34
iv. Devenir de l'empreinte	35
v. Modèle de travail	35
vi. Coût et maintenance	36
C. Lava C.O.S. (12-19-9-39-28)	37
i. Prise en main	38
ii. Acquisition de l'image	38
iii. Empreinte antagoniste et enregistrement de l'occlusion	38
iv. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO	39
v. Devenir de l'empreinte	39
vi. Coût et maintenance	40
D. Trios (1)	41
i. Prise en main	41
ii. Acquisition de l'image	42

iii. Inlay core	43
iv. Coût et maintenance	45
VI. Autres systèmes	45
A. E4D (8-28-26)	45
i. Caractéristiques	46
ii. Logiciel	46
B. Direct Scan (28)	46
C. Cyrtina (28)	48
D. IOS FastScan (28)	48
VII. Cas clinique	50
VIII. Comparaison des principaux systèmes	60
A. Investissement/rentabilité (15-3)	60
B. Indications	62
C. Satisfaction des patients (24)	65
D. Gain de temps (39-20)	66
E. Image du cabinet (7)	67
F. Réorganisation du temps de travail des actes prothétiques	67
Utilisation, Avantages et Courbe d'apprentissage (25-21-4)	69
H. Adaptation (22-32-37-2-29-34-33)	69
Conclusion :	73
Table des illustrations :	75
Bibliographie :	77

Introduction :

C'est en 1973 que le Dr François Duret a inventé le concept du système d'empreinte optique, sûrement en avance sur les possibilités technologiques de l'époque. Il aura fallu une trentaine d'années pour que la profession s'intéresse réellement à cette «révolution» technologique.

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

L'avènement de la prise d'empreinte optique permet au praticien et au technicien de laboratoire d'utiliser des méthodes de travail reproductibles et précises tout en étant plus agréable pour le patient.

I. Qu'est ce que la CFAO ? (15)

CFAO (CAD/CAM en anglais) ou Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur est la fusion de deux fonctions CAO (Conception assistée par ordinateur) et FAO (Fabrication assistée par ordinateur).

La CFAO ne se limite pas à la fabrication de prothèses, elle conçoit et utilise tous les outils numériques applicables sur le modèle scanné pour appliquer les diagnostics médicaux informatisés. C'est une méthode universelle s'appliquant sur un objet réel dont on connaît les caractéristiques physiques.

II. De l'industrie à la chirurgie-dentaire (15)

Il existe une différence fondamentale entre la CFAO utilisée dans le milieu industriel et en chirurgie-dentaire.

En effet, en industrie la pièce est usinée automatiquement à partir d'un fichier numérique. En revanche en chirurgie dentaire, il ne s'agit pas de reproduire : objets identiques mais de créer un objet en bout de chaîne (la prothèse) qui est fondamentalement différent de l'objet qui rentrait dans la chaîne (la préparation).

Chaque prothèse est unique et doit s'adapter à un support particulier tout en tenant compte d'un environnement spécifique, il s'agit de «sur-mesure».

III. De la création à la commercialisation (1970-2012) (17-18-10-11-31-14)

A. De 1970 à 1990

L'histoire de la CFAO en chirurgie-dentaire a commencée en France dans les années 70. Le Dr François Duret (à droite sur la Figure 1) alors étudiant soutient sa thèse de docteur en Chirurgie Dentaire ayant pour titre : l'empreinte optique (1973).

Dans cette thèse le Dr Duret imagine un système complet basé sur une lecture optique, une conception CAO et un usinage : systèmes que l'on trouve aujourd'hui sur le marché.

De 1975 à 1981 seulement deux pays s'impliquèrent fortement dans cette invention : la France et les Etats-Unis représentés par ALTSCHULER et SWINSON

C'est en 1983 que la première démonstration en public de la CFAO dentaire est réalisée aux entretiens de Garancière, par l'équipe du Dr François Duret, puis en novembre 1985 au congrès de l'ADF la première couronne réalisée par CFAO est scellée en direct 1 heure après l'empreinte optique.

Aux USA, dès 1984 apparaît le Cerec mark 1 appelé aussi «lemon» du fait de sa couleur jaune citron. Cet appareil est capable de faire des empreintes en bouche et d'usiner des inlays en quelques minutes.



Figure 1 : François Duret et son équipe



Figure 2 : Cerec mark 1

B. De 1990 à 2000

A partir de cette date se dessinèrent deux grands axes de développement, le tout cabinet ou «chair side» du Cerec 1 et le mixte cabinet/laboratoire.

Au début des années 90, un nouveau concept fit son apparition : le développement des centres de production industrielle de prothèse avec le système Procera. Ce système développé par Matt ANDERSON en Suède utilise le micro palpé de modèle et l'usinage par électro-érosion.

Malheureusement à cette époque tous les systèmes étaient encore «fermés» au sens informatique du terme, il fallait avoir la même marque depuis le scanner jusqu'à la machine outils (et même le matériau).

C .De 2000 à 2013

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

- le chair side (CEREC 2 puis 3)
- le tout laboratoire Everest de Kavo, Cercom de Degussa, Lava de 3M, Pro 50 de Cynovad)
- le mixte laboratoire/centre de production (Procera ou Pro 50 de Cynovad)

C'est en 2005 que sont apparus les premiers systèmes ouverts grâce au langage de communication universel STL. A partir de cette date, il fut possible d'acheter un scanner d'une marque, une CAO d'une autre marque et une machine outils d'une troisième marque. L'unique contrainte était de bien avoir une parfaite communication entre les différents éléments de la chaîne.

A cette époque rien n'est réellement nouveau dans les applications (inlays, coiffes, couronnes, petits bridges ou facettes), ce qui changeait était le matériau.

Effectivement, le reproche continué que l'on faisait à la CFAO en Chirurgie-Dentaire était qu'elle obligeait à utiliser des matériaux conventionnels peu esthétiques (titanes ou

composites) ou des céramiques fragilisées par l'usinage (les micro fractures des Empress ou Dicor).

Les grands groupes se sont donc efforcés à trouver des alternatives aux matériaux utilisés à cette époque : c'est l'apparition de la zircone chez Degussa et GC puis chez tous les fabricants, ce qui donna un second souffle à la CFAO.

En effet la zircone a permis d'utiliser des petites unités d'usinage tout en offrant la suppression des armatures métalliques au profit des structures céramiques esthétiques. Il est maintenant possible d'usiner des armatures à la fois solides et esthétiques.

Cette évolution a fait apparaître un nouveau métier chez les prothésistes, celui de spécialiste CFAO («info-prothésiste») et/ou celui de fabricant d'armatures ou de coiffes , sous-traitant pour ses collègues.

IV. Les trois étapes de la CFAO (17-14)

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

- Le système de mesure qui a pour fonction de numériser l'arcade dentaire afin que ses coordonnées puissent être introduites et traitées par un ordinateur. Derrière ces composants existent des unités chargées de filtrer, convertir en numérique et structurer les données pour qu'elle soient assimilables par l'unité CAO. Elle peut être endo buccale, ou sous la forme de scanner. C'est la **phase d'acquisition des données**. cette étape se fait au cabinet ou au laboratoire.
- Un système CAO, qui a pour fonction de rendre visible l'empreinte, de permettre de la matérialiser et de permettre à l'opérateur de construire (modéliser) sa prothèse. Des applications particulières permettent de modéliser des traitements ODF, des prothèses adjointes ou des guides chirurgicaux en implantologie. C'est la **phase de conception**. Cette étape se fait au cabinet ou au laboratoire.
- Un système de réalisation matérielle, c'est l'unité de fabrication. Elle peut être un petit appareil intégrable au cabinet dentaire (CEREC) ou d'énormes machines outils industrielles. C'est la **phase de fabrication**.

Ces trois composants sont reliés entre eux selon différents langages informatiques spécifiques (système fermé) ou universels (système ouvert).

A. Acquisition des données (13-38-23-5)

La phase d'acquisition des données se fait à l'aide d'une empreinte dentaire.

Une prise d'empreinte dentaire est la mise en oeuvre d'une méthode capable de mesurer une perturbation et de la restituer sous forme utilisable, palpable (empreinte chimicomaneuelle), visible (empreinte optique), voire métrique (empreinte à l'aide d'un palpeur). Elle doit conduire à mettre ces informations à la disposition de l'opérateur qu'il soit prothésiste ou chirurgien dentiste.

La CFAO a révolutionné notre approche de l'empreinte en introduisant l'optique et l'informatique pour effectuer ces mesures. Elle fait appel à l'empreinte traditionnelle (empreinte surfacique, par matériau d'empreinte), l'empreinte par contact (palpage) l'empreinte optique (sans contact).

Dans la plupart des cas, ces empreintes sont faciles à mettre en oeuvre, mais lorsqu'il s'agit de faire ces mesures en bouche, les critères ne sont plus les même et les méthodes deviennent plus complexes.

Nous développerons dans cette partie les différents systèmes d'empreintes optiques (sans contact).

L'empreinte optique consiste en la projection d'un champ électromagnétique (ex : la lumière), la déformation de cette projection créée par le volume dentaire va être exploitée puis transformée en données numériques à l'aide de capteur type CCD (charge coupled device) ou Cmos (complementary metal oxyde semiconductor), capteurs utilisés dans nos appareils photos numériques.

i. Méthode directe par triangulation.

Cette méthode est la plus ancienne et la plus utilisée pour les calculs de mesure (métrologie). Elle est absolue car elle donne la valeur de la mesure directement au moment de l'analyse.

Le principe de base consiste à placer un récepteur, un deuxième récepteur (ou un émetteur) et l'objet aux sommets d'un triangle épipolaire. Un plan étant défini par trois points, la triangulation ramène donc un problème spatial (3D) à un problème de géométrie plane (2D).

Si l'on utilise deux récepteurs (yeux, ou caméras), on parle de stéréovision en lumière non structurée, si l'on place un récepteur (caméra) et un projecteur de lumière (LED, laser..) à la place du deuxième récepteur, on parle de méthode par triangulation active en lumière structurée.

Les mesures réalisées en stéréoscopie en lumière non structurée ne sont pas compatibles pour la réalisation d'une empreinte dentaire, en effet la précision de cette méthode est de l'ordre de 250 à 400 μm .

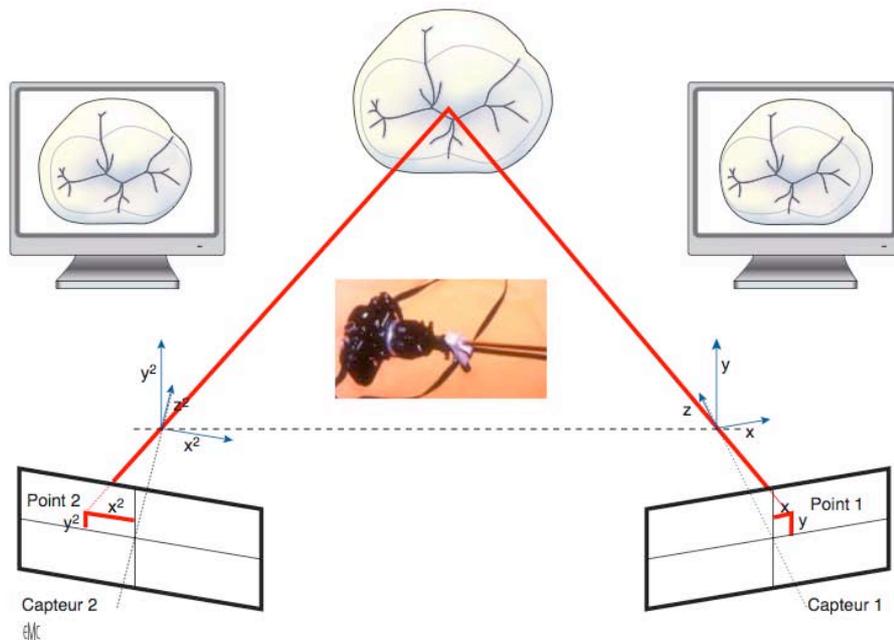


Figure 3 : schéma de la méthode de triangulation sans lumière structurée

ii. Méthode directe par triangulation en lumière structurée.

Ici c'est la position du point lumineux visualisé sur l'objet qui est mesurée et non pas un point de l'objet. L'objet n'existe plus en lui-même, c'est la lumière qui apparaît à sa surface qui est mesurée.

- *Projection d'un point* : c'est la méthode la plus utilisée en CFAO dentaire, on la retrouve dans la plupart des systèmes comme le Cercom, le Lava de première génération, le système GN1. On projette et déplace sur la dent un point lumineux à l'aide d'une diode laser sur une surface. Les coordonnées du point lumineux (X,Y et Z) sont déterminés à l'aide d'un logiciel de mesure de triangulation, connecté à un capteur CCD. Malheureusement cet appareil n'est pas utilisable en bouche car le balayage est trop lent et la fixation de la caméra est impossible sur la dent.

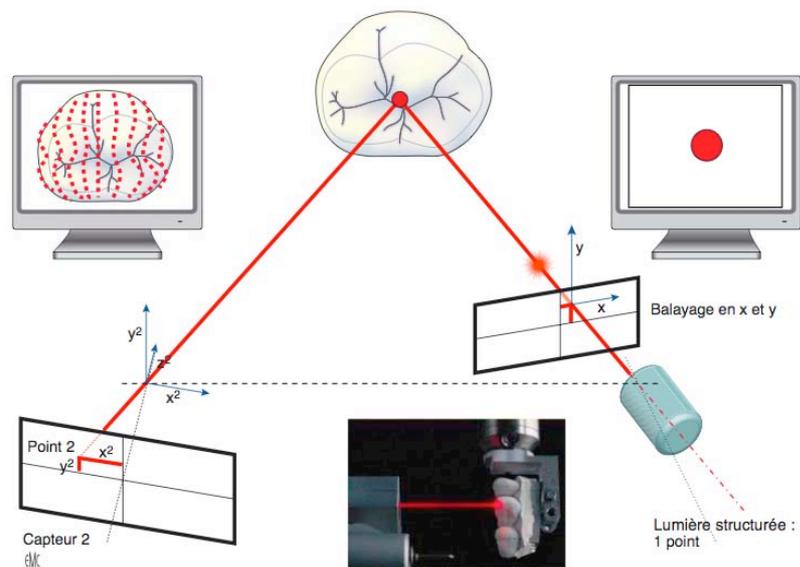


Figure 4 : Projection d'un point en triangulation par lumière structurée

- *Projection d'une ligne* : ici le principe est le même car la projection d'une ligne grâce à une fente de lumière ou d'un ensemble de diodes collimatées est égale à la projection de n points rapprochés. C'est le même algorithme que pour la projection d'un point, la réflexion est là aussi lue par un capteur CCD ou CMOS. L'avantage de ce procédé est de permettre une acquisition plus rapide mais elle ne l'est pas encore assez pour une utilisation en bouche. Ce procédé est utilisé dans beaucoup de systèmes dentaires en laboratoire, le système Precident de DCS, caméras los, 3shape, Cyrtina ou HintEls. Le scannage de la surface est réalisé dans une enceinte close sans lumière parasite.

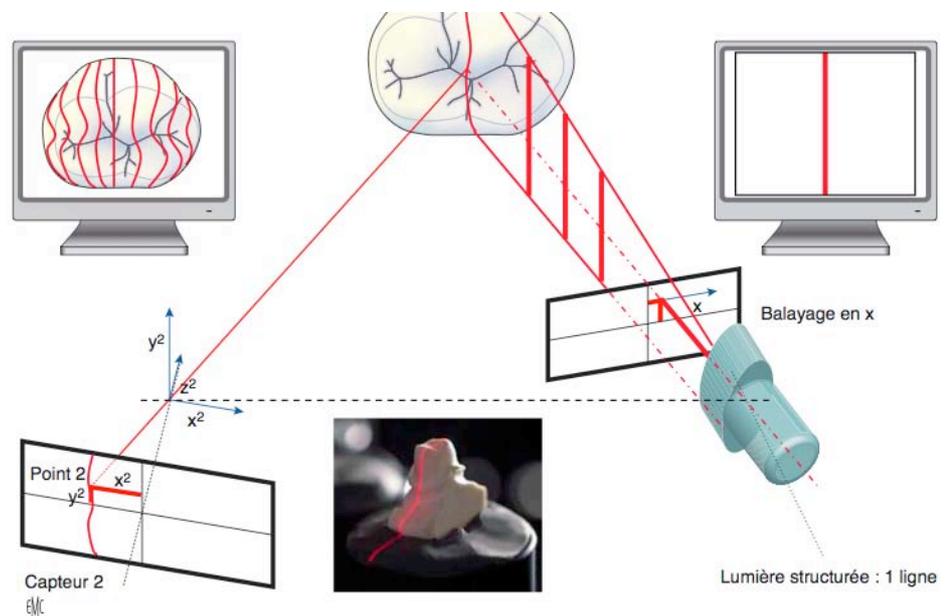


Figure 5 : Projection d'une ligne en triangulation par lumière structurée

- *Projection d'un masque* : ici on projette un ensemble de lignes parallèles de largeurs variables appelé grille ou trame. Chaque grille ou masque est composée de (\cdot) lignes à pas variables composées elles-mêmes de (\cdot) points codés et projetée sur le modèle. Ces masques sont en général composés de trames noires/blanches ayant un pas connu. Durant la mesure, la projection va de la valeur la plus grande, grossière, à la plus fine, précise, afin de repérer sur l'objet les lignes que l'on projette. Cette méthode est décrite pour la première fois en

1981 par ALTSHULER, elle est utilisée dans les système Girrbach, Lava de première génération ou Everest.

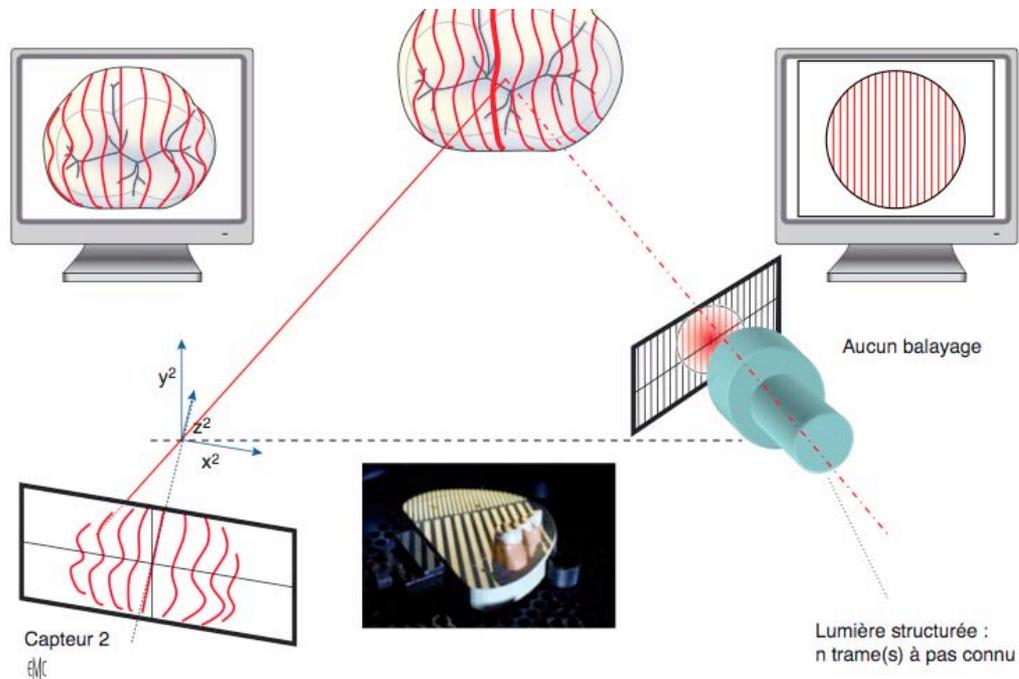


Figure 6 : Projection d'un masque en triangulation par lumière structurée

iii. Méthode indirecte en lumière active ou structurée

Dans cette méthode, on projette un réseau périodique sur la surface de l'objet à analyser et de l'observer au travers d'un deuxième réseau. Ce réseau périodique peut être macroscopique : moiré optique ou microscopique, voire ondulatoire, on se rapproche alors des méthodes d'interférométrie.

C'est donc de l'interférence entre ces deux réseaux microscopiques d'amplitude que naît un phénomène ondulatoire macroscopique permettant de remonter indirectement aux coordonnées X, Y, et Z de chaque point observé sur la dent ou l'arcade.

Ces méthodes sont à rapprocher des méthodes par triangulations, car le dispositif utilisé et en particulier le montage des éléments optiques se caractérisent encore par l'angulation entre l'émission et la réception des ondes lumineuses. En revanche d'un point de vue

purement mathématique, cette méthode est différente de la triangulation dans la mesure où l'information de la mesure en Z est donnée par l'interférence de deux réseaux ondulatoires ou macroscopiques projetés et observés sur l'objet.

- Moiré optique : L'aspect moiré optique macroscopique est obtenu par superposition de deux réseaux ou grilles microscopiques neutres. C'est l'interférence lumineuse entre ces deux réseaux qui crée cet effet. C'est cette méthode qui fut utilisée en 1983 aux entretiens de Garancière par l'équipe du Dr Duret. Malheureusement cette méthode a une précision de 100 μm et la qualité de mesure dépend trop de la couleur du modèle ou des dents en bouche.

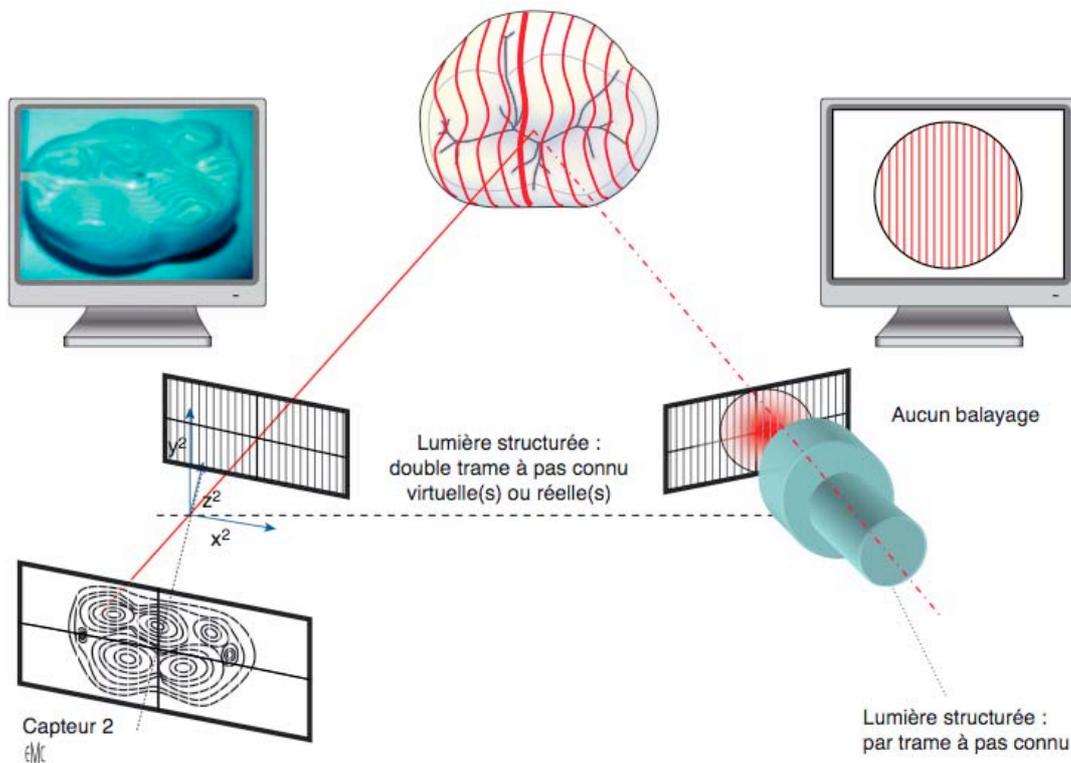


Figure 7 : Illustration du moiré optique

- Moiré électronique : le moiré électronique ou interférence profilométrique est la méthode la plus utilisée en chirurgie dentaire. En plus d'avoir une précision de quelques micromètres, elle permet de saisir le volume d'un objet en moins de 1/10 ième de seconde. C'est la méthode utilisée par le système CEREC. La méthode utilisée par les caméras de prise d'empreinte endobuccale est la méthode de codage de phases. Le principe du décodage de phases est de

mesurer les différentes intensités lumineuses résultant du décalage de phase en un même point entre le rayon laser utilisé sur un plan de référence défini en usine (calibration) et mémorisé dans la caméra et la phase de ce même rayonnement au moment où celui-ci a frappé la dent. La différence de phase (prenant l'apparence d'une différence d'intensité à un pas près), entre le rayon de référence et les différents rayons frappant ce point de la dent pendant le mouvement de la trame, nous permet de retrouver la distance entre le plan de référence calibré en usine et la surface mesurée dans la bouche. Il est alors possible au logiciel de remonter à la valeur Z recherchée pour ce point. C'est donc une méthode relative. Pour des questions de simplicité, et compte tenu que plus la distance entre l'objet et la caméra est grande, moins la lumière est forte, la variation de la phase en mesurant la variation de l'intensité du rayon (plus intense = plus proche, moins intense = plus loin).

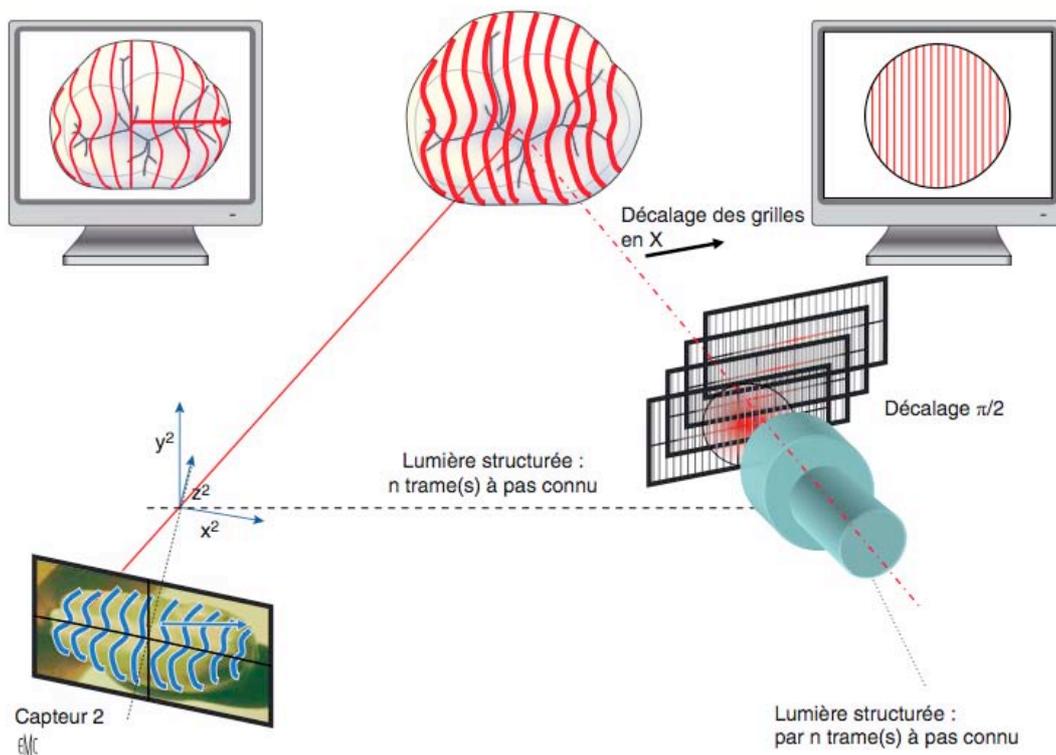


Figure 8 : Illustration du moiré électronique (système CEREC)

iv. Méthode de focalisation-défocalisation colinéaire ou AWS (Lava C.O.S.)

Cette technique fut développée en 2007 par le Massachusetts Institute of Technology (MIT), elle consiste à projeter sur l'objet une tache de lumière au travers d'une lentille mobile dans l'axe optique, et de calculer le mouvement de cette lentille pour passer de la vue floue à la vue nette. Si nous avons une bonne référence et connaissons la transcription mouvement de la lentille/distance à l'objet, à chaque point analysé par la tache correspond une distance Z lentille-Objet.

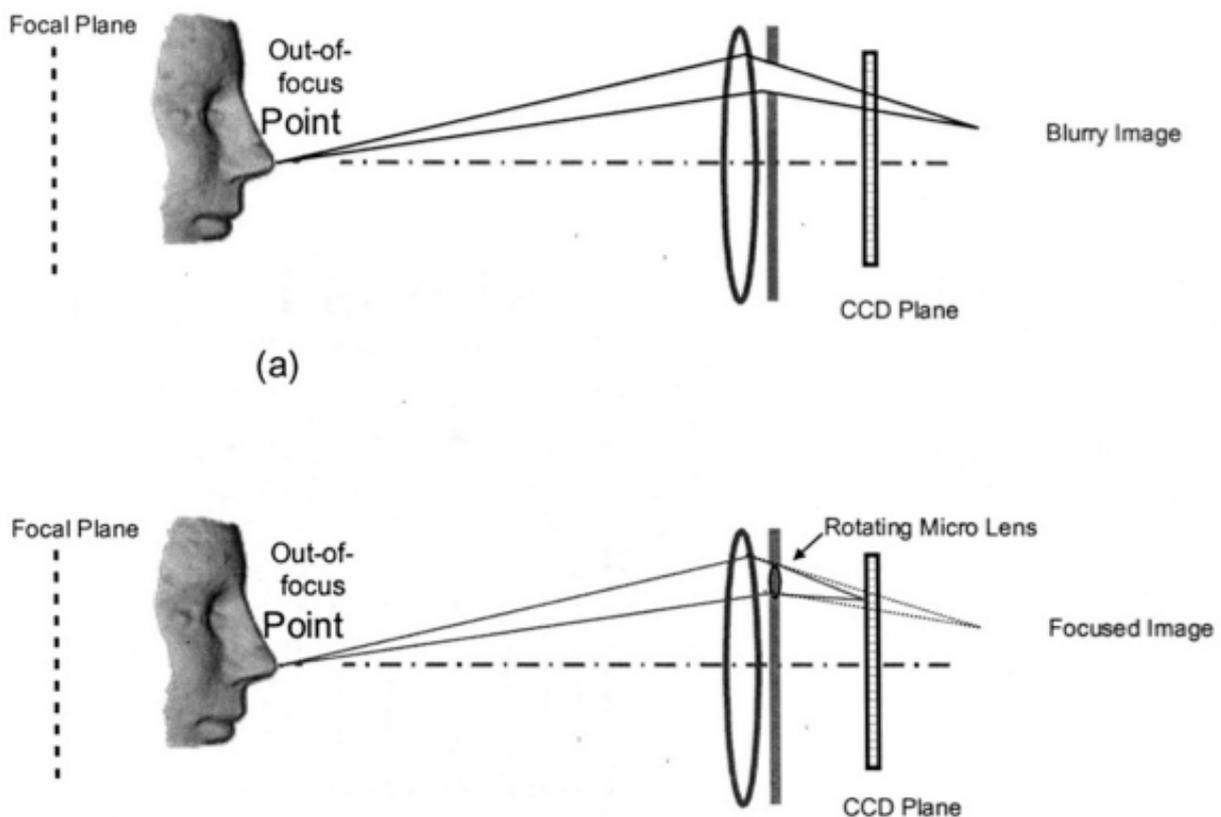


Figure 9 : Méthode de focalisation-défocalisation colinéaire ou AWS (Lava C.O.S)

Le système comprend trois capteurs CCD, face à un disque composé de trois trous, et dont les trois trajets optiques résultant ne sont pas colinéaires. La lentille frontale focalise la lumière de LED qui l'entoure successivement sur l'un des trous dont le diamètre correspond (à une confocale près) au diamètre minimal de la partie d'arcade dans le plan de focalisation du capteur.

Le fait que les trois réseaux ne soient pas colinéaires crée un effet stéréoscopique pour remonter à la valeur Z (le X, Y étant donnés par la place sur le capteur CCD).

Le système ainsi conçu prend 20 vues par secondes et 10 000 points par vue. Pour une arcade, il est courant de travailler 120 secondes, donc de faire environ 2 400 vues et de mesurer 24 millions de points, ce qui assure une précision de 10 μm environ.

v. Système iTero (parallèle confocale)

Ce système utilise la théorie de la lumière confocale en microscopie, les ingénieurs de chez Cadent l'ont nommée «parallèle confocale».

En optique, pour qu'une image soit nette, il faut que l'objet soit dans le plan focal du système optique. Lorsqu'un objet est épais, présente un relief important, ou bien lorsqu'il est incliné par rapport à l'objectif, seule une partie de l'objet est nette dans l'image. De plus, plus le grossissement est élevé, plus cette profondeur est faible, ce qui empêche d'avoir une image nette sur la totalité d'un objet un peu étendu.

En fait, la microscopie à champ large pose un problème pour tous les objets ayant une certaine épaisseur. En effet, la lumière émise par le plan focal, donc nette, est perdue dans la fluorescence émise par les plans adjacents au plan focal, qui par définition sont flous.

Pour résoudre ce problème, on éclaire la surface non plus par un faisceau de lumière blanche, mais par un faisceau laser qui balaie la surface en positionnant un sténopé (écran avec un trou de très faible diamètre *pinhole* en anglais) devant le détecteur, dans un plan focal conjugué au plan focal de l'objectif (plans confocaux).

De cette manière, seuls les photons provenant du plan focal passent le sténopé et participent à la formation de l'image, d'où le nom confocal.

La lumière provenant des plans adjacents (floue) est arrêtée par les bords du trou. Il est ainsi possible d'obtenir une coupe optique nette correspondant uniquement au plan focal. En faisant varier ce plan, on obtient une succession de coupes donnant des informations nettes et précises dans les trois dimensions de l'objet observé.

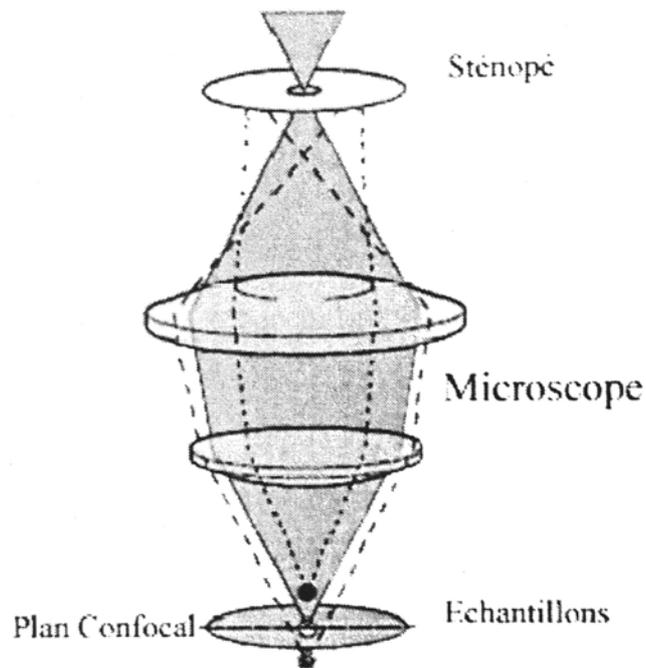


Figure 10 : Illustration du système parallèle confocale

iTero réalise un scannage laser et optique pour reproduire numériquement la surface et les contours de la dent et des structures gingivales. Le scanner iTero reproduit 100 000 points de lumière laser avec une mise au point sur 300 profondeurs focales de la structure de la dent.

Ces images de différentes profondeurs focales sont espacées d'environ 50 μm . Les scanners reposant sur l'échantillonnage par triangulation nécessitent de recouvrir les dents d'une poudre de scannage. Le scannage confocal parallèle du système iTero enregistre tous les éléments et les matériaux présents en bouche sans nécessiter de poudre de scannage, contrairement aux techniques précédemment vues.

A. Conception (38-12)

C'est dans le domaine de la modélisation 3D de chapes et de bridges que sont nés, au début des années 2000, les premiers logiciels de CAO pour les prothésistes dentaires.

Les gains de temps en maquettage sont discutés par les prothésistes. Certains estiment qu'ils vont aussi vite à modeler des armatures à la main qu'avec la CAO (sauf pour le modelage de bridges de grande taille). Mais il faut analyser les gains de temps en aval,

lors de la fabrication. En passant de la maquette CAO à la fabrication numérique, les gains de temps sur le processus complet de réalisation d'une armature deviennent conséquents.

En termes de qualité, tous les utilisateurs s'accordent à dire que les gains de précision sont indéniables, avec des ajustements parfaits, une fois les technologies maîtrisées.

De plus, le passage par une maquette numérique est nécessaire à la fabrication de certaines restaurations telles que l'usinage d'armatures en zircone.

Il est possible de numériser une maquette en cire pour la transférer vers l'usinage, mais il est dommage de se priver de la qualité de précision de la CAO quand on est en possession de l'outil. Les maquettes manuelles sont d'une précision de 100 à 200 μm contre 20 à 50 μm avec la CFAO.

Il faut aussi noter qu'avec la CAO, contrairement à des modèles en plâtre, il est possible, sans les détruire, de les sectionner, de les agrandir afin de visualiser les lignes de finition, de repérer anatomiquement les cuspidés, sillons, zones de contact et autres contre-dépouilles.

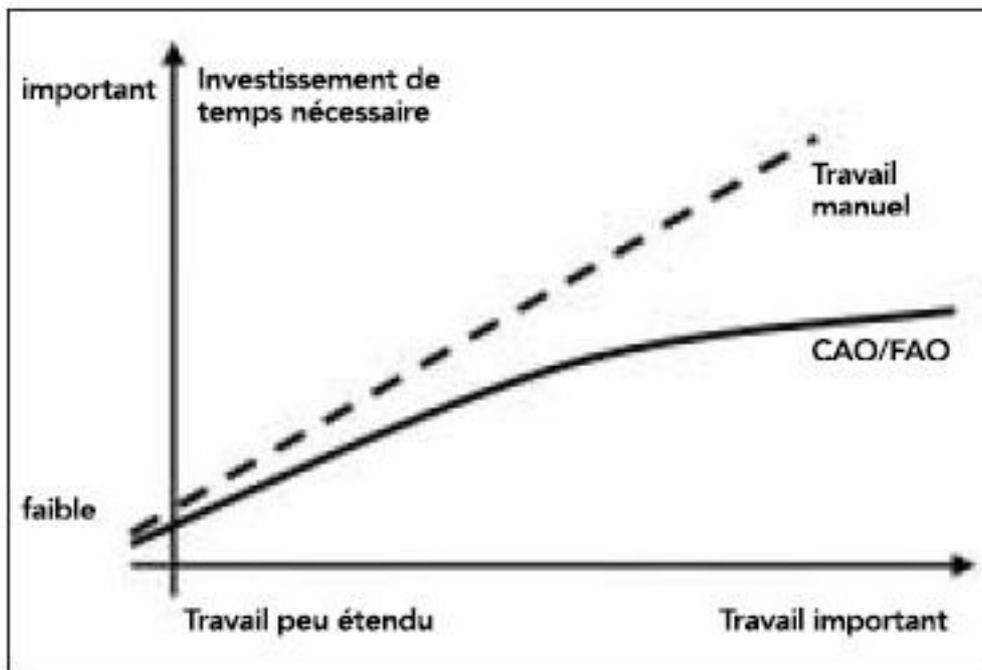


Figure 11 : Représentation graphique comparant le modelage manuel par rapport à la fabrication par CFAO

Le savoir faire du technicien de laboratoire reste toujours indispensable dans la réalisation de prothèse, on pourrait les qualifier aujourd'hui «d'info-prothésistes».

B. Fabrication (38-35-40-27)

La FAO est l'interface entre la CAO et la machine de mise en forme du matériau.

Dans la chaîne numérique de CFAO dentaire il existe deux techniques de mise en forme :

- Fabrication par soustraction : l'usinage, possibilité de mettre en forme plusieurs matériaux avec la même machine.
- Fabrication par addition : souvent chaque machine est dédiée à un seul matériau.

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

Figure 12 : Techniques de fabrication (10)

i. Par soustraction

Le principe de fabrication par soustraction (usinage) consiste à enlever de la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, l'aide d'une machine outil à commande numérique (MOCN). Les pièces obtenues sont d'une grande précision.

L'usinage est réalisé à l'aide d'une fraiseuse. La fraise et la pièce sont montées sur des glissières et peuvent se déplacer relativement suivant des coordonnées X, Y et Z (machine 3 axes). Les axes de rotation A, B et C sont respectivement axés sur X, Y ou Z. Il existe des machine quatre ou cinq axes.

Les machines 3 axes sont suffisantes pour usiner des couronnes, des chapes et des bridges. Elles permettent aussi d'usiner des barres à sens d'insertion simple.

Les machine 4 axes permettent d'étendre l'usinage à la fabrication de piliers.

L'usinage 5 axes est nécessaire pour usiner des supra-structures complexes, barres à direction divergentes, pour l'usinage simultané d'une série de piliers.

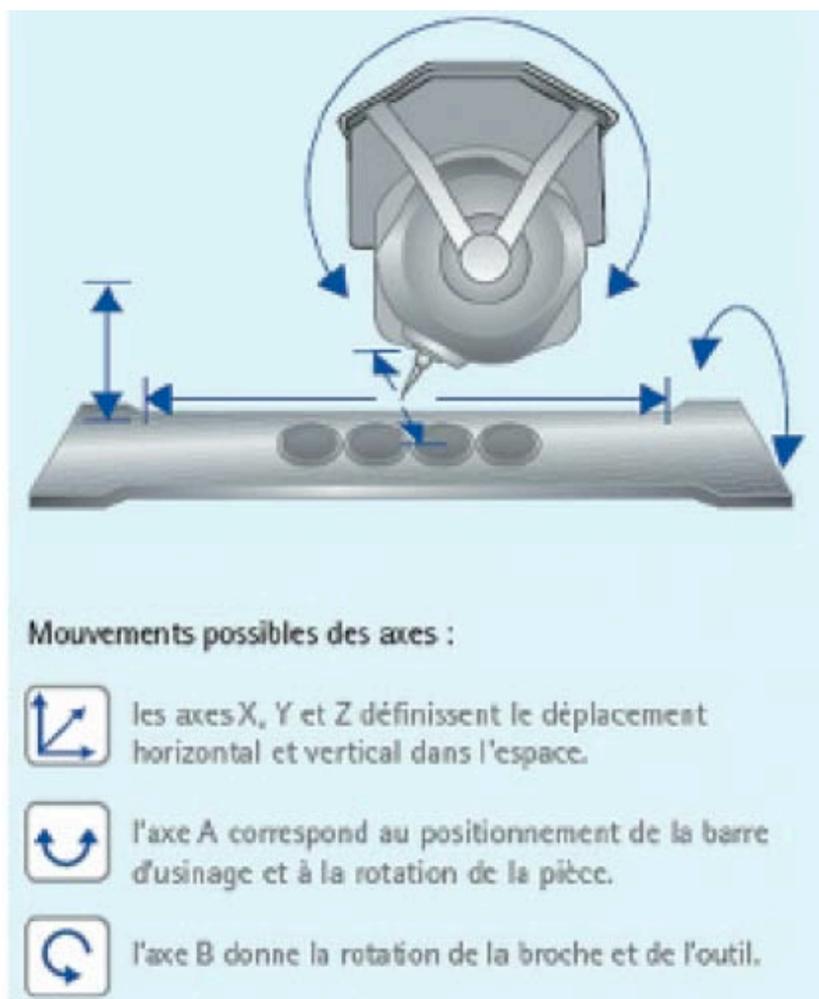


Figure 13 : Illustration de mouvements 5 axes (Everest de Kavo) (10)

ii. Par addition

La fabrication additive consiste à mettre en forme un objet par ajout de matière (par empilement de couches successives), contrairement à l'usinage qui met en forme un objet par enlèvement de matière. Le principal avantage de cette technique de fabrication est qu'elle permet de produire simultanément des pièces de morphologies différentes et de formes complexes.

Née dans le début des années 80, cette technique a d'abord permis la mise en forme d'objets en résine photo-polymérisable qui ne pouvaient être destinés qu'à un usage de maquette pour la validation de forme. C'est pourquoi, on l'avait désigné par l'expression «prototypage rapide». Depuis, les procédés, les matériaux et les technologies ont évolué. Tout d'abord, dès les années 80, les maquettes en résine sont utilisées comme modèles pour la fonderie à cire perdue. Puis les technologies mises en œuvre ont permis de fabriquer des prototypes fonctionnels en résine, en plastique, en métal et en céramique. Et aujourd'hui, il est devenu possible de fabriquer des pièces en plastique ou en métal dites en "bonne matière", c'est-à-dire à usage final et non plus à usage de prototype ou de modèle. On parle alors de «Fabrication Directe» car on forme une pièce directement à partir de sa représentation numérique 3D, sans passer par un moule ou par l'usinage d'un brut.

Une autre évolution, qui a notamment permis d'amener la fabrication additive vers la production de prothèses dentaires, est la simplification d'utilisation et la baisse de prix des machines, avec l'arrivée des «imprimantes 3D».

- Stéréolithographie : la stéréolithographie (SLA) est une technique de prototypage rapide qui consiste à projeter au moyen d'un rayon laser des rayons ultraviolets sur la surface d'un récipient contenant une résine plastique photosensible. L'objet réel est obtenu par une superposition de tranches fines de matière. C'est une technique qui existe depuis les années 1980.

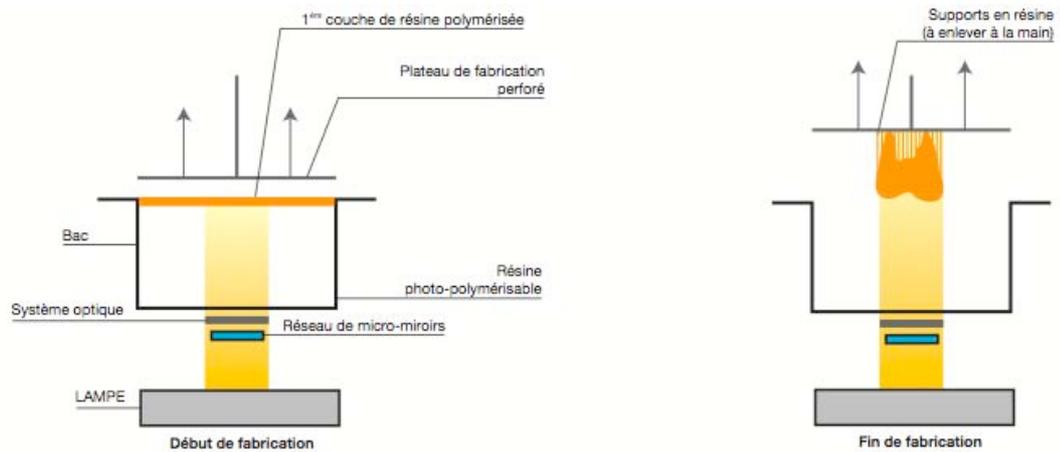


Figure 14 : Représentation graphique comparant le modelage manuel par rapport à la fabrication par CFAO

- L'impression 3D : Cette technique de prototypage rapide est une des plus récente. Elle permet de générer un objet réel à partir d'un fichier CAO en le découpant en tranches puis en déposant ou solidifiant de la matière couche par couche pour, au final, obtenir la pièce terminée. Il existe deux techniques d'impression 3D :

- Injection de cires : les couches successives sont créées par l'injection simultanée de deux cires, celle du modèle et une autre qui sert de support de construction. Cette technique a l'avantage d'être facile à mettre en oeuvre et d'être d'une grande finesse et précision. Par contre le temps de fabrication est important.
- injection de résines et polymérisation par UV, les couches successives sont créées par l'injection simultanée de deux résines de support de construction. A chaque couche déposée, une source UV est utilisée pour solidifier par polymérisation la résine photo-sensible. La résine support est éliminée par dilution dans un bain de solvant. Cette technique a l'avantage d'être très productive (jusqu'à 160 éléments ou 20 châssis par plateau), en revanche elle a un coût élevé.

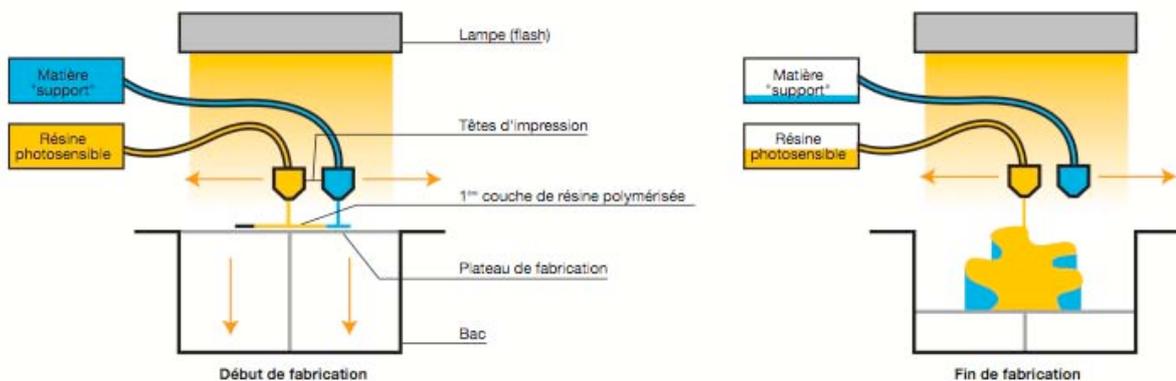


Figure 15 : Impression 3D

- Microfusion de poudre : cette technique est basée sur le principe d'agglomération de poudre polymère ou métallique. Pour la poudre polymère, la méthode consiste à fusionner localement les particules à la surface d'un lit de poudre à l'aide d'un faisceau laser, aux endroits où on désire la pièce. La surface de poudre est ensuite abaissée afin de permettre le nivellement d'une nouvelle couche de poudre. Le laser balaie à nouveau la surface de la poudre pour créer une section additionnelle, juxtaposée à la précédente. La pièce est ainsi formée couche par couche et la pièce finale (poudre liée) se retrouve imbriquée dans une assise de poudre non liée. Le même principe s'applique pour les poudres métalliques avec la différence que la poudre de métal a été préalablement enrobée de polymère. Le faisceau laser est utilisé pour agglomérer les particules de métal en fusionnant l'enrobage polymère qui agit comme une colle. Cet enrobage doit ensuite être éliminé par chauffage intense dans une première étape au four. La poudre de métal doit être frittée (microsoudures entre particules de métal) à haute température dans une deuxième étape pour que la pièce se maintienne sans l'aide du polymère.

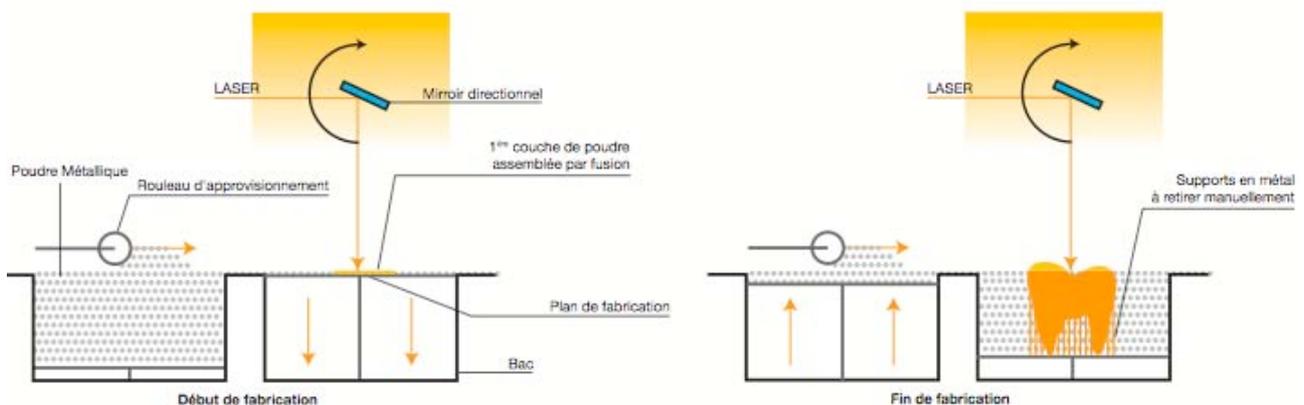


Figure 16 : Microfusion

V. Les principaux systèmes

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

A. CEREC (19-30-36-28)

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

Sirona propose aujourd'hui 3 caméras de prise d'empreinte optique :

- La célèbre Cerec Bluecam
- La nouvelle caméra : l'Omnica
- La petite dernière : Apollo DI, comprenant uniquement la caméra de prise d'empreinte.

La caméra de prise d'empreinte se nomme la CEREC Bluecam, elle se présente sous forme d'une pièce à main solidaire à l'unité d'acquisition du CEREC.

Elle est composée d'un prisme, d'une lentille et d'une cellule d'acquisition de l'image. Elle repose sur un support chauffant évitant ainsi la formation de buée.

i. Prise en main

La caméra se tient comme un gros porte-plume (entre le pouce, l'index et le majeur), les autres doigts servent de points d'appuis.



Figure 17 : Caméra Cerec Bluecam

ii. Acquisition de l'image

Il est impératif de procéder au poudrage (coating) de la préparation avant le début de l'empreinte. Cette phase de poudrage est la seule «opérateur dépendante», elle consiste à déposer un matériau (oxyde de titane) dit «opto-lisible» de façon uniforme afin d'éviter tout phénomène de surbrillance lors de la prise d'empreinte.

La caméra émet une lumière bleue d'une longueur d'onde de 470 nanomètres, qui permet de prendre une série de clichés. Le logiciel les regroupe ensuite de manière à former un modèle virtuel en trois dimensions. La caméra détecte automatiquement le meilleur moment pour déclencher la prise de vue. Un détecteur de mouvement intégré permet la prise de cliché uniquement lorsque l'image est stable.

Depuis la version 3.0 du logiciel la modélisation de l'image se fait en prenant comme repère les dents adjacentes. Le calcul «biogénérique» se base sur la morphologie des dents adjacentes pour concevoir la reconstitution et restituer une couronne à la morphologie spécialisée. Cette méthode demande au praticien de prendre un minimum de trois clichés :

- Préparation et dents adjacentes
- Dents antagonistes

-Mordu vestibulaire

Pour que l'empreinte soit correctement exploitée par le logiciel il est impératif que toute la limite cervicale de la préparation ainsi que les points de contact des dents adjacentes doivent être parfaitement distinguable en vue occlusale.

C'est pour cela qu'il est primordial de respecter l'axe de la prise d'empreinte, qui doit être celui de la préparation et souvent celui du grand axe de la dent.

iii. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO

La limite cervicale de la préparation peut être positionnée automatiquement par le logiciel ou manuellement par le praticien. La limite la plus favorable à une empreinte optique correspond à un épaulement droit. L'utilisation de fraise diamantée bague rouge pour le polissage de la limite cervicale permet de parfaire son état de surface et sa lisibilité.

Une limite supra-gingivale n'est pas obligatoire en empreinte optique, il faut juste que celle ci soit visible, en revanche celle-ci est obligatoire en cas de collage. Les moyens d'accès aux limites cervicales sont les mêmes que pour les empreintes conventionnelles (technique des doubles cordonnets rétracteurs, utilisation d'Expasyl®, etc)

iv. Empreinte antagoniste et enregistrement de l'occlusion

Cette phase peut être réalisée à l'aide de deux méthodes :

- Prise d'un cliché en vue vestibulaire en occlusion.
- Mise en place d'un silicone d'occlusion opto-lisible ou poudré secondairement à prise rapide, déposé sur la préparation puis le patient ferme en OIM ou ORC. Un cliché du mordu est ensuite réalisé, puis le logiciel superpose l'empreinte avec et sans le mordu et l'utilise pour modéliser la face occlusale.

v. Devenir de l'empreinte

- Exploitation de l'empreinte au cabinet dentaire :

Après avoir pris l'empreinte optique, le praticien modélise lui-même la pièce prothétique à l'aide du logiciel de CAO, puis l'usinage de la pièce prothétique est réalisé par l'unité d'usinage présente dans le cabinet. On estime un temps d'usinage de 5 à 7 minutes pour un inlay-onlay, de 10-12 minutes pour une couronne unitaire, des bridges provisoires de courtes portées peuvent aussi être réalisés.

- Exploitation de l'empreinte par un laboratoire :

Après la prise d'empreinte, le détourage et la mise en évidence de la limite de la préparation par le praticien, celle-ci est envoyée par internet à un laboratoire compatible CEREC Connect.

Contrairement à d'autres systèmes l'envoi du fichier est gratuit. Cette solution permet la fabrication d'éléments de plus grande étendue contrairement à la solution vue précédemment.

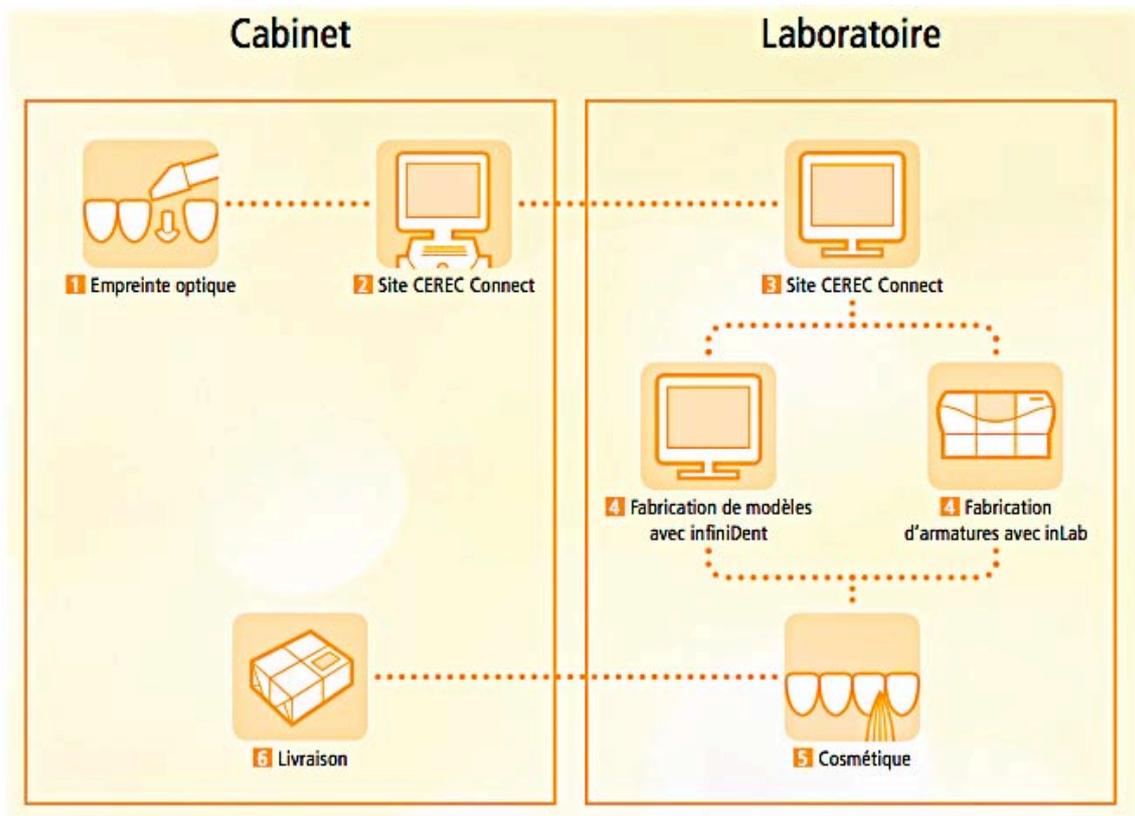


Figure 18 : Cerec Connect

vi. Matériaux

Il existe de nombreux blocs de céramiques disponible pour le CEREC :

- Les céramiques feldspathiques : elles ont l'avantage d'être esthétiques et biocompatibles, cependant leurs propriétés biomécaniques sont peu élevées.
- Les vitrocéramiques enrichie en disilicate de lithium : même propriétés optiques que les céramiques feldspathiques mais avec des propriétés mécaniques supérieures (résistance à la flexion accrue). Ces blocs sont reconnaissables par leur couleur bleue violacée, après usinage une deuxième cristallisation est réalisée par traitement thermique (30 minutes) afin d'obtenir la teinte souhaitée.



Figure 19 : Bloc céramique en disilicate de lithium

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

Cette caméra remplace la grille tarifaire de la caméra Bluecam soit 100 000€ (données constructeur) pour l'ensemble des appareils pour de la CFAO directe.



Figure 20 : Cerec Omnicam

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

L'omnicam ne nécessite plus de poudrage préalable de la préparation.



Figure 21 : Empreinte couleur par l'Omnica

En Mars 2013 lors de l'IDS à Cologne, Sirona a lancé une nouvelle caméra d'empreinte optique : L'Apollo DI. Cette petite caméra (100g) est vendue sans centre d'usinage au cabinet dentaire, elle est destinée à la prise d'empreinte optique par le chirurgien dentiste puis envoyée directement au prothésiste sous un format ouvert (STL), permettant d'être compatible avec n'importe quel laboratoire ou centre d'usinage.

La prise d'empreinte nécessite un léger poudrage (-50% par rapport à la Blue Cam), elle est proposée au prix de 19 900€ TTC (données constructeur).



Figure 22 : Apollo DI

B. iTero (6-9-28)

Le système iTero est lancé au Etats-Unis en 2007 par la société Cadent. Ce n'est que trois en plus tard, en 2010, que le système est lancé en Europe en partenariat commercial avec la société Straumann (leader mondial en chirurgie dentaire implantaire et restauratrice).

Trois années d'évaluation clinique ont été nécessaires avant son lancement, aujourd'hui iTero compte plus de 1600 utilisateurs et plus de 1000 laboratoire partenaires.

i. Prise en main

La prise en main de la caméra est différente de celle de la BlueCam, ceci est dû à sa taille et son poids imposant (600g + 300g de câble). Elle se tient comme un «presse-purée» : tenue à pleine main sur le corps de la caméra.

La caméra utilise la technique parallèle-confocale (vue précédemment) comme mode de

prise de vue, ceci permet d'éviter la phase de poudrage de la préparation.

La taille imposante du câble correspond à la présence d'un système d'air comprimé (compresseur situé dans le kart) permettant de sécher modérément les surfaces à enregistrer (tissus durs et mous) afin d'éviter la buée. Malheureusement ce petit compresseur entraîne une légère nuisance sonore.

La caméra possède un embout à usage unique (100€ le sachet de 100) afin d'assurer une bonne asepsie entre chaque patient. Après chaque utilisation un embout de protection est mis en place sur la caméra.

ii. Acquisition de l'image

Avant le début de l'empreinte, la limite de préparation doit être parfaitement visible, toutes les techniques d'accès aux limites peuvent être utilisées.

Comme précédemment pour que l'empreinte soit complète le praticien doit réaliser un scan de trois zones précises :

- La préparation et ses dents adjacentes
- Les dents antagonistes
- Cliché vestibulaire arcades en occlusion

Pour plus de stabilité le praticien pose la caméra directement au contact des dents. Les clichés sont initiés par une pression sur la pédale sans fil et déclenchés automatiquement une fois la caméra stable. Grâce à l'écran situé en face du praticien chaque cliché peut être validé ou refusé instantanément. Une «série type» de scan comprend 15 à 30 enregistrements. Pour le secteur antérieur les besoins esthétiques nécessitent l'enregistrement de données supplémentaires.

Une fois les enregistrements terminés, une pression sur la pédale démarre le processus de traitement de l'image.

iii. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO

Un modèle 3D des deux arcades est présenté à l'écran, ils peuvent être analysés sous n'importe quel angle.

La limite cervicale peut être la aussi tracée de façon automatique ou manuelle, les relations occlusales peuvent être analysées. Si quelque chose n'est pas acceptable, le praticien peut à tout moment retoucher sa préparation, puis scanner la zone retouchée qui sera ajoutée directement au projet sans recommencer toutes les étapes.

iv. Devenir de l'empreinte

Une fois le praticien satisfait du résultat, le fichier empreinte va être compressé (environ 100 Mo) puis envoyé par internet au centre de traitement des images en Israel.

Ce fichier sera analysé, traité et optimisé par les techniciens Straumann, puis retourné dans un format universel vers tout laboratoire compatible.

v. Modèle de travail

Les modèles de travail usinés par Straumann sont fabriqués par usinage à l'aide de machines à 5 axes, n'importe quel matériau peut être utilisé.

Straumann usine les modèles en polyuréthane, le modèle sert à la fois de modèle de travail et de maître modèle sur lequel les structures des tissus mous peuvent être visualisées.

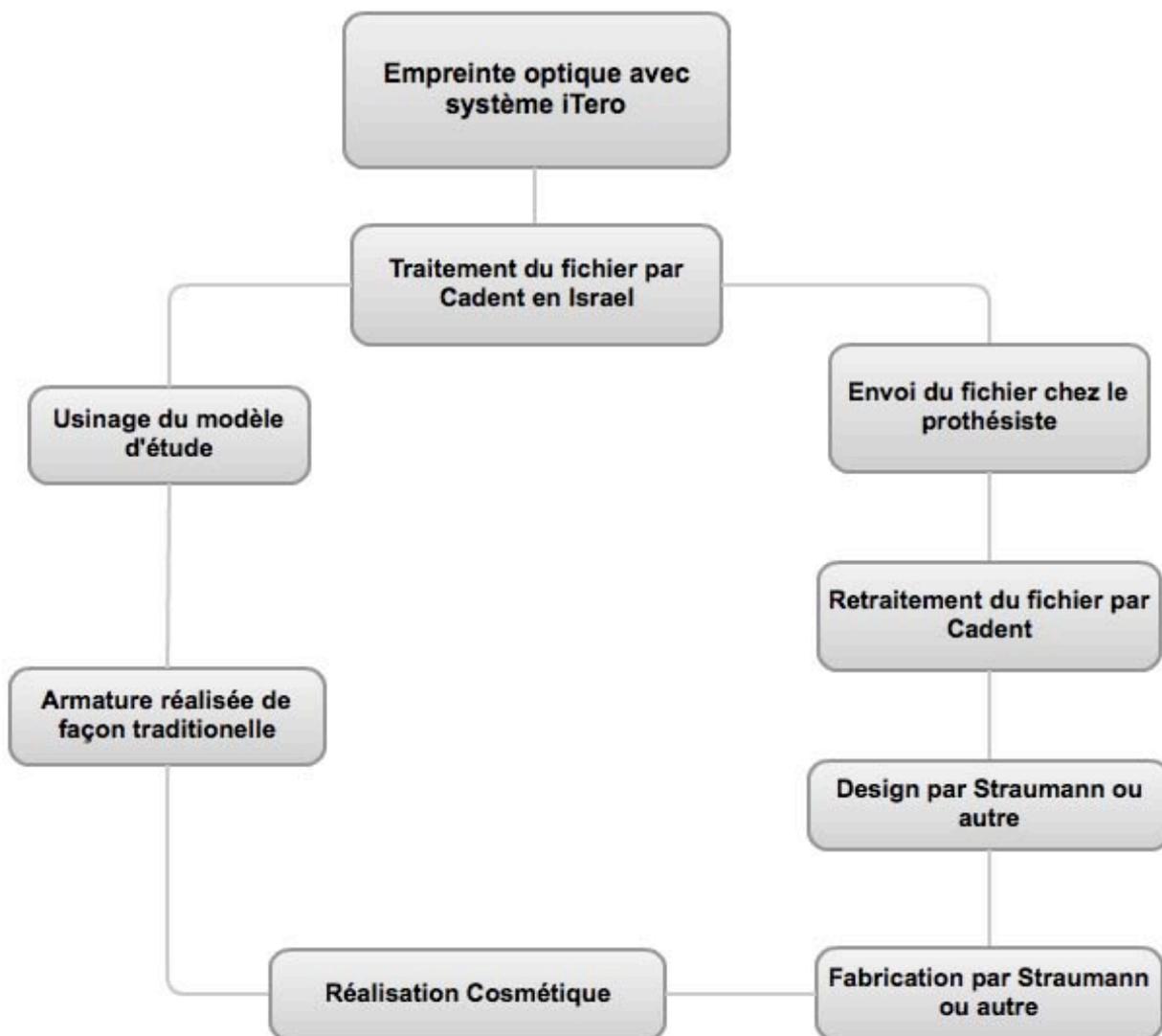


Figure 23 : Gestion des empreintes avec iTero

vi. Coût et maintenance

Le prix d'achat de la machine iTero est de 29 000€ HT (données constructeur), ceci correspond à la machine, les mise à jour du matériel ainsi qu'une formation de 2 jours.

Il est à noter que l'envoi des fichiers vers le portail Straumann est payant, le praticien a le choix entre 2 solutions :

- Payer un forfait annuel : 3 990€ HT/an pour un envoi illimité de fichier
- Payer à l'unité : 22€ le quadrant, 24€ quadrant étendu, 28€ arcade complète.

C. Lava C.O.S. (12-19-9-39-28)

Le Lava Chairside Oral Scanner (Lava C.O.S.) est commercialisé en France depuis janvier 2010 par la société 3M ESPE. Comme les autres systèmes il est composé d'une caméra et d'un kart composé d'un écran tactile.



Figure 24 : Système Lava C.O.S.

i. Prise en main

La caméra Lava est la plus petite du marché (13 mm à son extrémité), elle est composée de 192 diodes électroluminescentes et de 22 lentilles.

ii. Acquisition de l'image

Comme pour la CEREC Bluecam, le poudrage de la préparation est nécessaire avant le début de la prise d'empreinte numérique, un pistolet «ventilateur» dépose une légère couche de dioxyde de titane de façon homogène.

Le déclenchement de la caméra est le plus souvent commandé directement par le bouton situé sur la caméra. Le praticien introduit la caméra en bouche et la déplace au-dessus des surfaces dentaires sans aucun contact, on «filme» en 3D. L'enregistrement en cours est visualisé sur l'écran par l'opérateur. Le système informe le praticien en temps réel, si certaines zones sont insuffisamment mesurées en affichant des couleurs différentes, permettant d'avoir la bonne distance entre la caméra et la dent.

L'enregistrement peut être arrêté à tout moment puis repris, les nouvelles données s'afficheront dans une teinte différente. L'empreinte peut être prise en un seul mouvement dynamique ou par une succession de films.

iii. Empreinte antagoniste et enregistrement de l'occlusion

L'arcade opposée est poudrée, puis le film est réalisé dans les mêmes conditions.

Pour l'enregistrement de l'occlusion, le patient est placé en position d'occlusion souhaitée, la caméra est introduite dans le vestibule et une clé vestibulaire est filmée en enregistrant 3 dents maxillaires en occlusion avec 3 dents mandibulaires.

Chaque cas clinique comporte 3 enregistrements :

- Arcade avec la ou les préparations

- L'arcade antagoniste
- Clé Vestibulaire

Le temps moyen d'enregistrement d'une arcade complète est de 2 minutes (pour un utilisateur expérimenté).

iv. Utilisation de l'empreinte par le logiciel de CAO

L'écran permet un contrôle de la préparation, de sa limite et des tissus environnants.

Le système Lava propose un système de visualisation 3D à l'aide de lunettes spéciales (3D Motion). On peut visualiser toutes les faces de la préparation. Il est possible de noter sur une zone délicate des points sur la limite. Ces points particuliers seront visibles par le prothésiste lui donnant ainsi l'information directe de la situation de la limite.

v. Devenir de l'empreinte

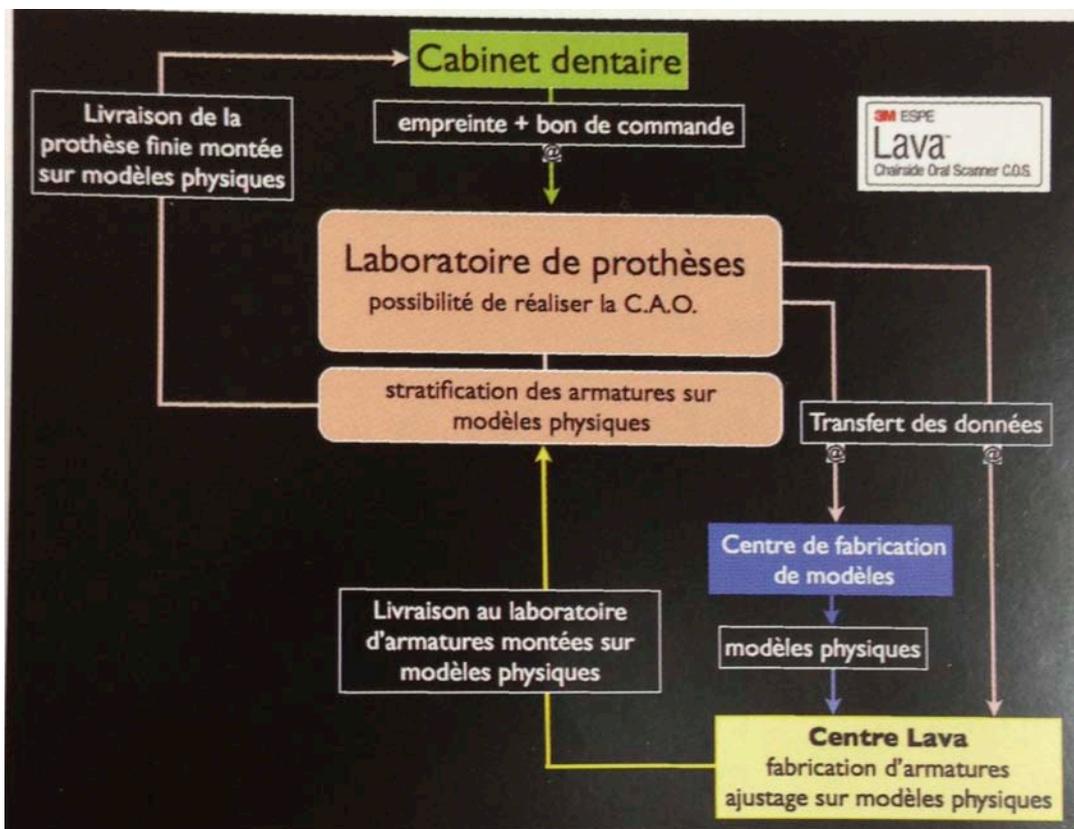


Figure 25 : Gestion des empreintes avec Lava C.O.S.

Le fichier de l’empreinte numérique est envoyé par internet au laboratoire de prothèse. Le prothésiste dispose d’un logiciel Lava C.O.S. Lab Software, il visualise toutes les informations enregistrées par le praticien. A l’aide du logiciel, le prothésiste affiche les modèles virtuels en occlusion. Il marque la limite de préparation, puis sépare la préparation des dents adjacentes de façon virtuelle.

Le nouveau fichier obtenu est envoyé par internet à la société réalisant les modèles par stéréolithographie (SLA). Pour le système Lava il n’existe que deux fabricants, un groupe aux USA et un groupe en Italie pour la production européenne des modèles.

Grâce à la stéréolithographie chaque partie du modèle est fabriquée séparément (il n’y a pas de sciage manuel), puis montée en occluseur. Le laboratoire de prothèse reçoit pour son élaboration prothétique : l’arcade avec la préparation et son antagoniste montés sur occluseur et un modèle de la préparation non détourné avec ses dents adjacentes non séparées. Durant la confection des modèles, le prothésiste qui dispose de Lava Lab Design Software peut assurer la modélisation de la pièce prothétique. Il peut réaliser ou sous traiter l’usinage. La couche cosmétique est ensuite réalisée.

vi. Coût et maintenance

Le coût du Lava C.O.S. est de 32 900€ (données constructeur), à cela il faut ajouter 2152€ de maintenance (mise à jour du logiciel et remplacement de pièce défectueuse main d’oeuvre et formation de deux jours par un technicien 3M ESPE).

Le coût d’envoi des fichiers est lui aussi payant, comme chez Straumann le praticien à le choix entre deux solution :

- Un forfait annuel : 3000€/an pour un envoi illimité
- Un forfait unitaire : 15,55€ par modèle

D. Trios (1)

La caméra Trios développée par 3Shape vient tout juste d'être commercialisée en France (Décembre 2012). 3Shape est un leader réputé dans le secteur de la numérisation 3D et des logiciels de CFAO pour applications dentaires.

i. Prise en main



Figure 26 : Caméra Trios

Le design de cette caméra est fondamentalement différent des caméras précédentes. La caméra se tient comme un pistolet, lui permettant une stabilité accrue. La tête de la caméra est réversible pour faciliter la numérisation des mâchoires supérieure et inférieure, et peut être stérilisée en autoclave.

ii. Acquisition de l'image

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

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

La prise d'empreinte est la même qu'avec la caméra de chez 3M ESPE.

3 scans minimum sont nécessaires :

- La préparations et ses dents adjacentes
- Les dents antagonistes
- Cliché vestibulaire arcades en occlusion

Il est aussi possible de modifier les scans et renumériser des zones spécifiques au lieu de tout recommencer lorsque les résultats initiaux ne sont pas parfaits. Il suffit de supprimer la zone correspondante sur le scan et de renumériser uniquement la région concernée.

Il faut compter environ 4 minutes pour la réalisation d'une empreinte complète des 2 arcades pour un utilisateur expérimenté.



Figure 27 : Empreinte couleur avec Trios

iii. Inlay core

L'une des grande nouveauté proposé par Trios est la possibilité de réaliser une empreinte numérique d'une préparation en vue d'un Inlay core et d'une couronne.

Ce système utilise des tenons spéciaux : Scan Posts© qui permettent de capturer les positions et profondeurs des inlay-core. Ils sont autoclavables et disponibles pour les principaux fournisseurs de tenon.

Une fois l'empreinte réalisée et envoyée au laboratoire, le technicien, à l'aide des logiciels 3shape calcul les positions et les profondeurs des tenons Scan Posts.

Puis les lignes cervicales sont définies : la première pour l'inlay core, et l'autre pour la couronne, permettant un ajustement optimal.

Le technicien réalise ensuite la conception de la couche anatomique de la couronne, ainsi il peut modéliser un inlay core de forme optimale en se basant sur la forme et les limites de la couronne finale.

Une fois la conception de l'inlay core validée, il peut être fabriqué à l'aide de différentes méthodes telles que : l'impression 3D, l'usinage ou le frittage laser.

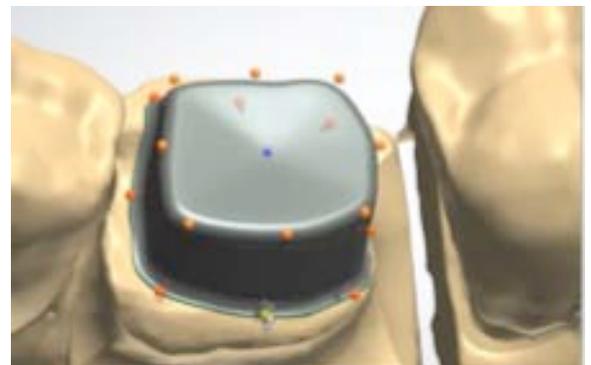


Figure 28 : Inlay-Core avec Trios

iv. Coût et maintenance

Le prix d'achat de la caméra Trios est de 36 000 € TTC (données constructeur) pour la version classique et de 42 000 € TTC pour la nouvelle version «empreinte en couleur». A cela il faut ajouter un forfait annuel de 2 000 € comprenant les mise à jour de logiciel et la maintenance.

Il est important de préciser que l'envoi des fichiers est gratuit et illimité, contrairement aux système Lava C.O.S. et iTero.

VI. Autres systèmes

A. E4D (8-28-26)

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

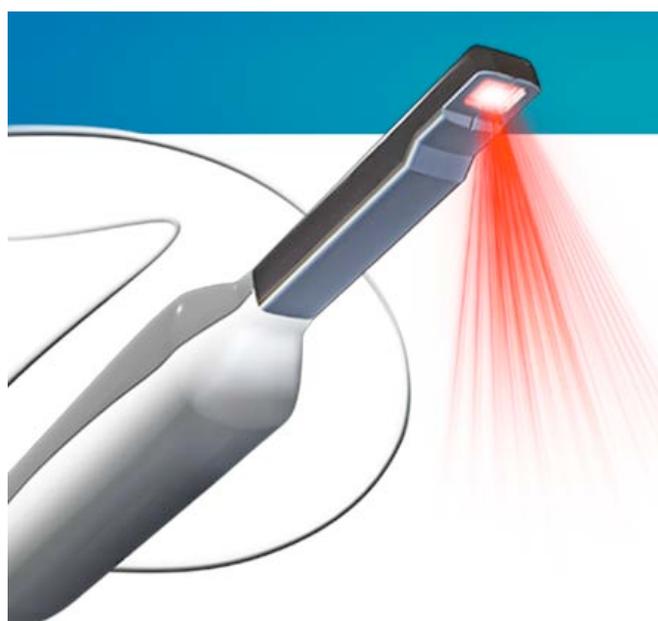


Figure 29 : Caméra E4D

i. Caractéristiques

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

Cette caméra ne nécessite pas de poudrage préalable de la préparation, le système utilisé est une technologie laser. La précision obtenue par la caméra est de l'ordre de 20 à 30 μm .

Le système utilise la projection de points de lumière laser rouge à 20 000 oscillations par seconde et un procédé de matrice de micromiroir appelé DMD (Digital Micromirror Device)

ii. Logiciel

Le logiciel ICEverything rassemble les images réelles et les superpose autour du modèle virtuel, prenant en compte l'arcade antagoniste et la dentition adjacente pour un rendu maximum.

Comme avec le logiciel CEREC, l'intensité des points de contact et de l'occlusion ainsi que l'ajustement du contour de la restauration peuvent être modifiés. Plusieurs morphologies dentaires (jeune, âgée, abrasée...) peuvent être sélectionnées.

La prise d'empreinte peut être réalisée de trois façons différentes :

- Directement en bouche
- Sur le modèle en plâtre
- A partir d'une empreinte traditionnelle

Les prises de vue nécessaires à la réalisation de l'empreinte sont les mêmes que les systèmes précédents.

L'usinage d'une couronne dure entre 15 et 20 minutes.

B. Direct Scan (28)

Il est commercialisé par la société Hint-Els, connue pour ses produits à destination des prothésistes. Ce système est pour le moment non commercialisé en France, peu d'informations sont disponibles.



Figure 30 : Système Direct Scan

La caméra est de taille conséquente mais ne pèse que 550g.

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

C. Cyrtina (28)

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



Figure 31 : Système Cyrtina

Cette caméra de 600g utilise la technologie confocale avec détection de l'effet de moiré, elle ne nécessite pas l'application de poudre et est compatible avec la plupart des dispositifs CAO/FAO.

Les fichiers sont au format STL, ouvert avec tous les dispositifs de CAO/FAO.

Les prises de vue nécessaires à la réalisation de l'empreinte sont les mêmes que les systèmes précédents.

D. IOS FastScan (28)

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



Figure 32 : Système IOS FastScan

Ce système nécessite un poudrage préalable de la préparation.

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

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

La résolution de la caméra est de l'ordre de 20 μ m pour une reconstitution unitaire et supérieure à 55 μ m pour une reconstitution par cadran.

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

VII. Cas clinique

Nous allons présenter à l'aide d'un cas clinique les différentes étapes pour la prise d'empreinte et la réalisation d'une pièce prothétique à l'aide du système CEREC (CFAO directe).

Monsieur P., 57 ans consulte au Centre De Soins Dentaires de Nantes pour une prise en charge prothétique.

Le patient ne présente aucun antécédent médical et est en bonne santé.



Figure 33 : Panoramique dentaire de M. P.

Plan de traitement :

- Extraction de 45 : Dent non conservable
- 46 : Réalisation d'un inlay/onlay support de PAP (cercle rouge sur les illustrations) à l'aide du système CEREC.
- Réalisation d'une Prothèse amovible partielle (PAP) mandibulaire : 47-45-44-36

Après vérification de la vitalité pulpaire de la 46, nous procédons à la dépose sous digue du composite inadapté avec anesthésie.

La préparation pour inlay-onlay est respectueuse des recommandations, un polissage à l'aide de fraises bagues rouges est soigneusement réalisé.



Figure 34 : Radio et Photo de 46, après dépose du composite

Afin de réaliser l'empreinte optique à l'aide de la caméra CEREC Bluecam la dent préparée ainsi que les dents antagonistes sont uniformément recouvertes de poudre d'oxyde de titane (coating). La prise d'empreinte peut alors commencer.



Figure 35 : Produit de poudrage et prise en main de la caméra

Comme vue précédemment nous allons réaliser un minimum de 3 clichés :

- Préparation et dents adjacentes (1)
- Dents antagonistes (2)
- Mordu vestibulaire (3)

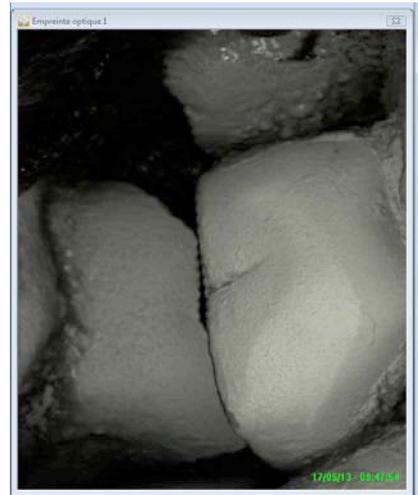
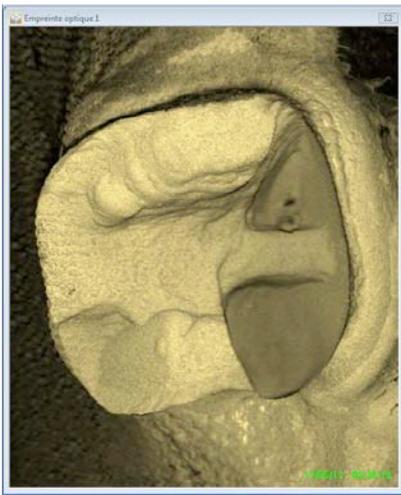


Figure 36 : Empreintes optiques des 3 zones (1-2-3)

Une fois les empreintes réalisées, le logiciel va modéliser en 3D les arcades mandibulaire et maxillaire, le praticien doit placer les deux modèles en occlusion.

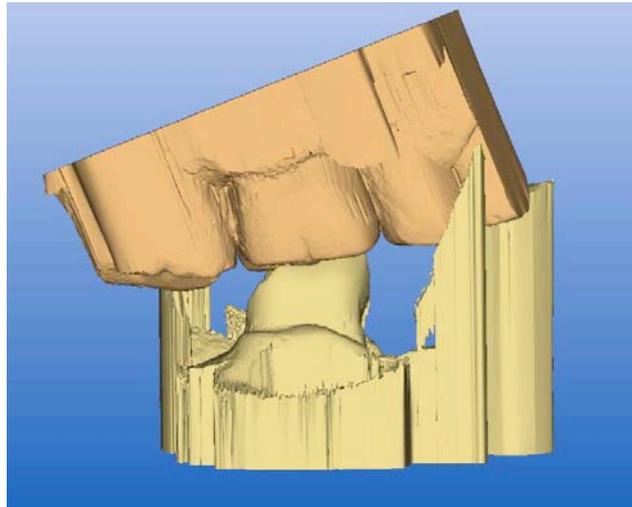


Figure 37 : Mise en occlusion des modélisations 3D

La préparation peut maintenant être observée en 3D sous tous ses angles, cette étape permet au praticien de vérifier la qualité de sa préparation et si besoin de réaliser quelques retouches avant la fabrication de la pièce prothétique.

Une fois la préparation validée, le chirurgien-dentiste est amené à tracer la limite de la préparation, étape très rapide facilitée par le logiciel.

Nous allons ensuite définir l'axe d'insertion de la pièce prothétique, permettant de déceler toute contre dépouille représentée en jaune clair à l'écran.

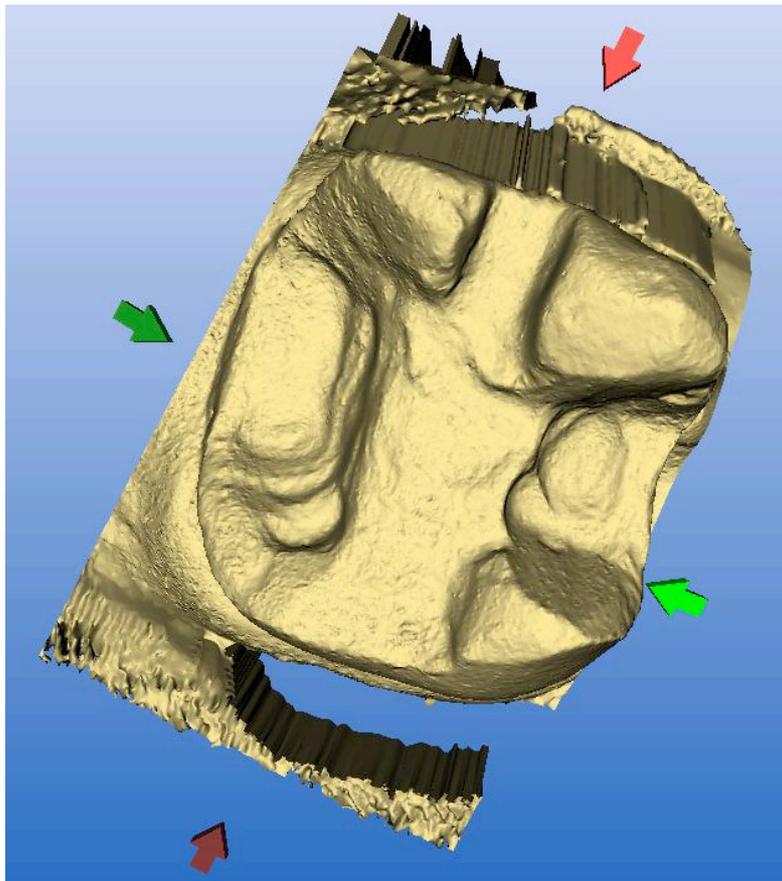


Figure 38 : Modélisation 3D de la préparation

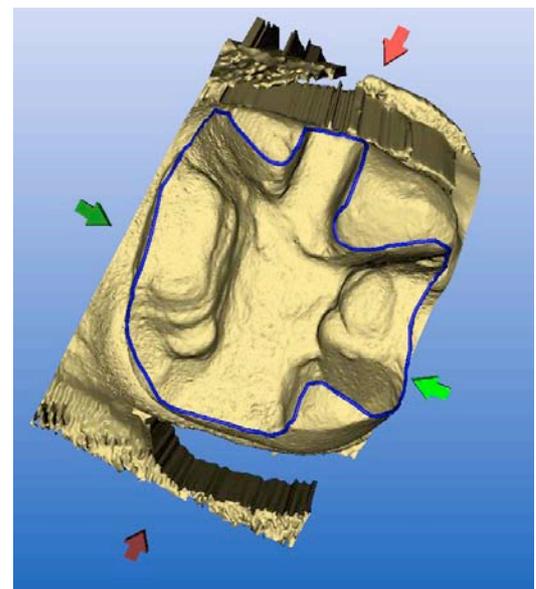
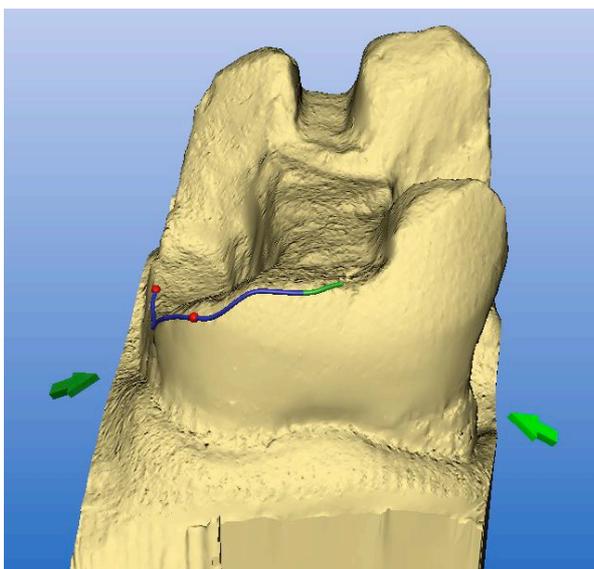


Figure 39 : Tracé de la limite prothétique.

Si l'ensemble est correct l'ordinateur va alors modéliser l'onlay :

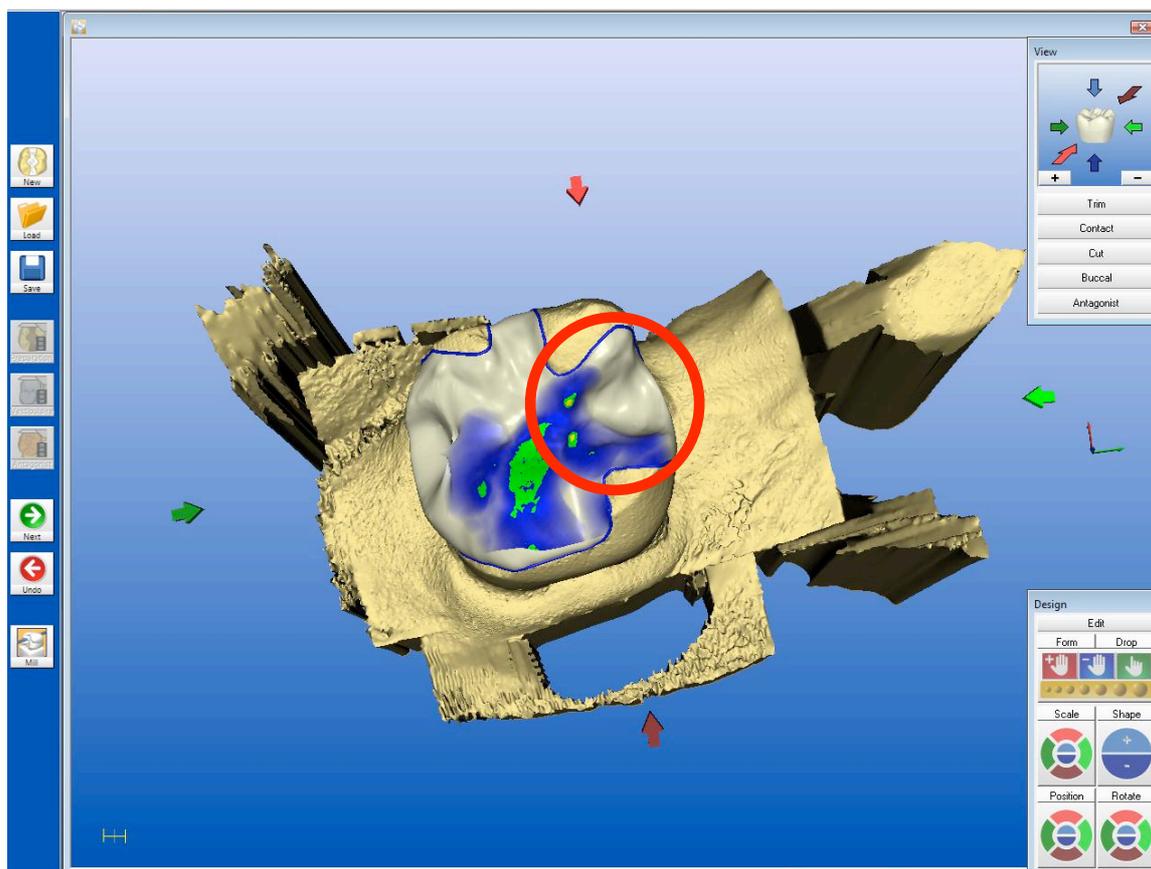


Figure 40 : Onlay modélisé

Le praticien peut alors réaliser les corrections qu'il désire à l'aide des nombreux outils disponibles. Dans ce cas nous avons réalisé 2 supports de crochet (taquet occlusal, cercle rouge sur les illustrations), un en mésial et l'autre en distal, en vue de la future PAP.

L'occlusion peut ainsi être vérifiée à l'aide d'un code couleur ainsi que l'épaisseur de la céramique.

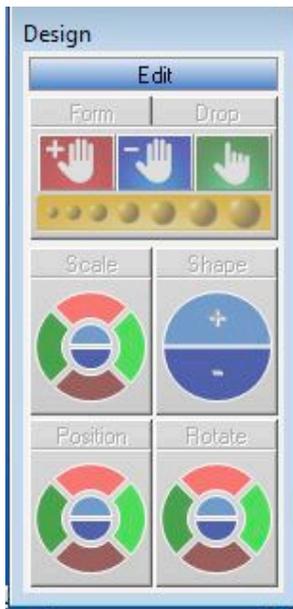


Figure 41 : Outils de modélisations

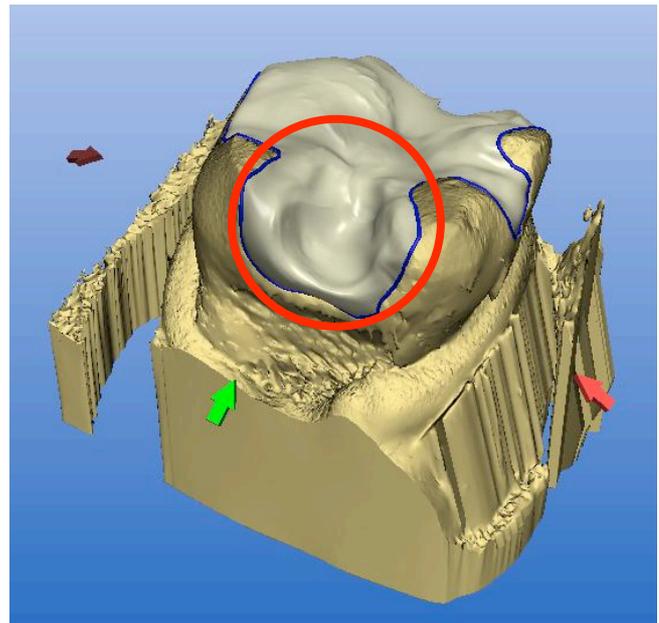


Figure 42 : Modélisation du taquet mésial

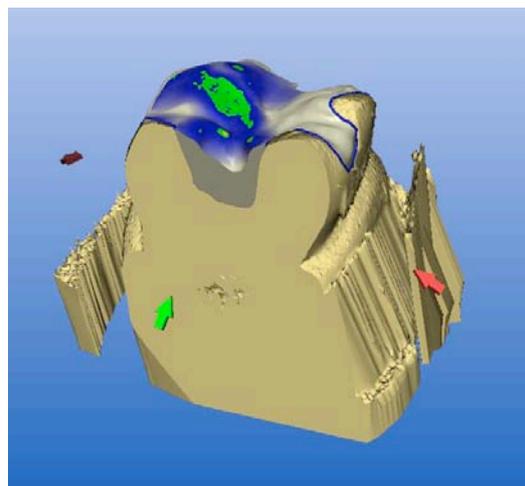


Figure 43 : Contrôle de l'occlusion et de l'épaisseur

Une fois l'ensemble des paramètres validés par l'opérateur, nous pouvons passer à la phase d'usinage.

Le choix de la teinte a été réalisé en début de séance, après la dépose de l'ancien composite.

Nous avons choisit ici un bloc IPS Empress de chez ivoclar/vivadent de teinte A1/I12 LT (Low Translucidity). Le bloc est placé dans l'usineuse (Sirona MC) puis l'usinage est lancé à partir de l'ordinateur. Dans ce cas il a fallu 18 minutes pour l'usinage complet de la pièce, aujourd'hui avec les nouvelles usineuses cette opération dure 5-6 minutes (Sirona MC XL).



Figure 44 : Bloc de céramique avant usinage

Une fois la pièce usinée nous nous retrouvons avec un élément en céramique brut. L'onlay est essayé en bouche afin de vérifier sa bonne insertion et la précision des limites, à ce stade aucune vérification de l'occlusion n'est faite.



Figure 45 : Onlay avant maquillage/collage

Il est alors possible de procéder à un maquillage, glaçage puis cuisson de la pièce prothétique pour un mimétisme parfait.

Le maquillage/glaçage (2-3 min) se fait avant la cuisson (9 min).

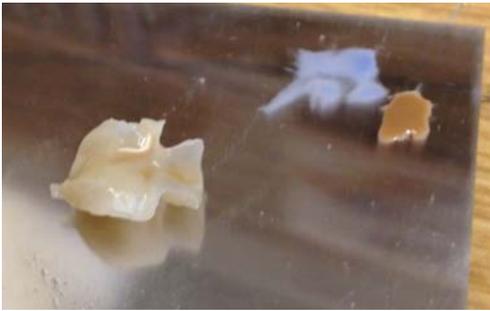


Figure 46 : Maquillage puis cuisson



Figure 47 : Onlay après maquillage et cuisson

Une fois l'essayage validé nous pouvons procéder au collage de la pièce prothétique, dans ce cas nous avons utilisés le coffret Multilink Automix de chez Ivoclar/Vivadent.



Figure 48 : Pièce prothétique après collage, avec PAP

VIII. Comparaison des principaux systèmes

A. Investissement/rentabilité (15-3)

Le choix des empreintes optiques dans un cabinet dentaire est un investissement important qu'il faut savoir étudier, en effet cette décision doit faire l'objet d'une analyse soigneuse et d'une planification rigoureuse.

L'investissement (entre 20 000€ et 100 000€) dans une telle technologie n'est pas le même que celui pour un matériel traditionnel, le chirurgien dentiste devra adopter une véritable nouvelle philosophie de traitement et de conception du cabinet.

Avant d'investir le chirurgien dentiste doit calculer le Retour Sur Investissement (RSI ou ROI en anglais) que va lui apporter son nouveau matériel. Tout investissement doit d'abord être un apport technique en vue d'une meilleure qualité des traitements. Cependant cet investissement ne doit pas devenir un gouffre financier, il est critique d'évaluer au préalable les coûts et recettes de celui-ci.

Le RSI ou ROI se calcule de la façon suivante :

$$\text{ROI} = \frac{(\text{Recettes liées à l'investissement} - \text{Coûts liés à l'investissement})}{\text{Coûts liés à l'investissement}}$$

Le RSI se mesure en durée et en pourcentage :

-En durée : quel temps faut-il pour que la courbe des gains dépasse celle des coûts (directs ou indirects) cumulés ?

-En pourcentage : quels sont les gains générés par cet investissement ?

Le retour sur investissement se calcule en fonction du nombre de prothèses CFAO réalisées. Le seuil de rentabilité exprime le nombre d'unités minimum nécessaires pour rembourser l'investissement. Le montant unitaire des honoraires demandés est une variable importante en fonction de chaque cabinet.

Tous les montants de ce schéma ne concernent que les recettes et dépenses liées à la CFAO.

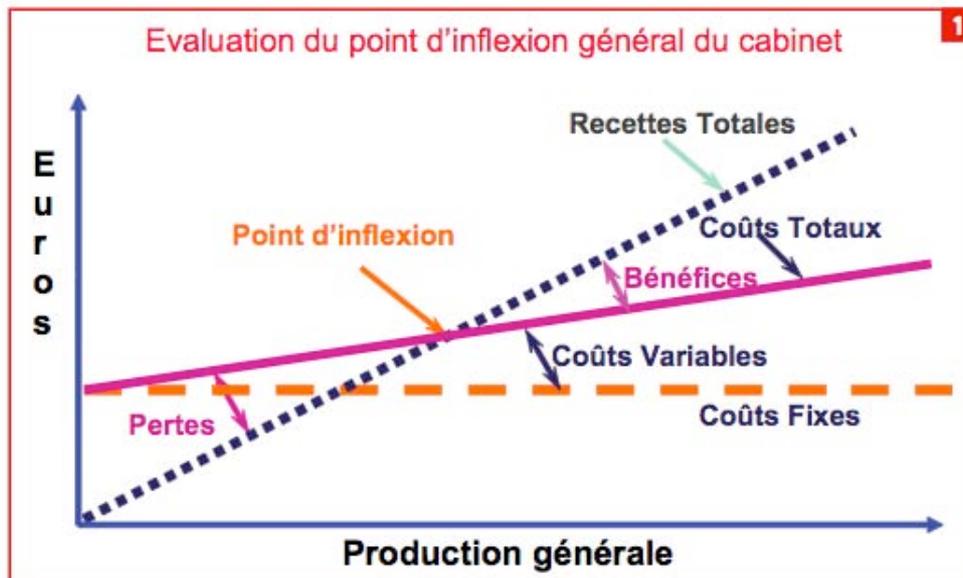


Figure 49 : Evaluation du point d'inflexion

Les *coûts fixes* comprennent les mensualités afférentes à l'investissement dans la CFAO ainsi que les coûts de la maintenance et des assurances.

Les *coûts variables* : frais liés à la réalisation des prothèses réalisées en CFAO : éventuels frais de laboratoire, préformes, coût de la machine outil, coût humain, consommables : électricité, eau, embout à usage unique (iTero), produit de poudrage...

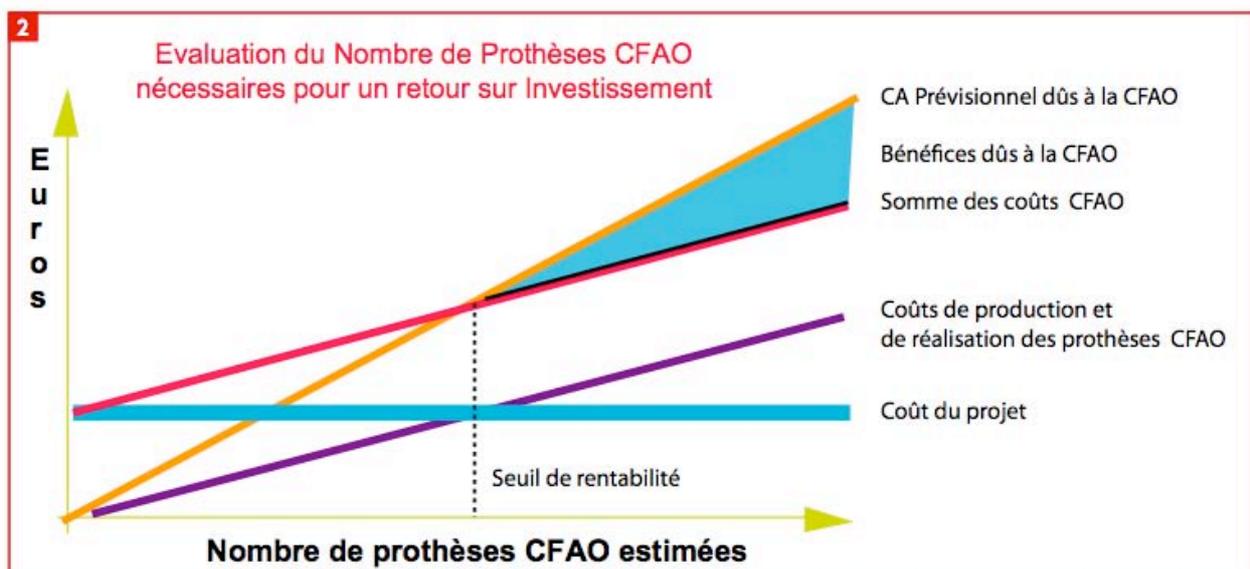


Figure 50 : Evaluation du nombre de prothèses CFAO nécessaires pour un RSI

Comme tout investissement le praticien aura le choix entre un leasing et un crédit : si il choisit le leasing c'est l'organisme prêteur qui reste propriétaire de l'appareil jusqu'au paiement de valeur la résiduelle. Dans le crédit, l'appareil appartient au chirurgien-dentiste. Fiscalement le leasing est totalement déductible, et le crédit suit un tableau d'investissement. Lors d'investissement lourds mieux vaut avoir recours à un emprunt ou leasing que de piocher dans sa trésorerie. Le financement par emprunt permet de déduire, en plus de l'amortissement, les intérêts courus sur l'exercice, cette déduction fiscale permet alors d'atténuer le coût du crédit.

Il est préférable de toujours prendre un leasing avec upgrade/reprise car les appareils évoluent de plus en plus vite (exemple du CEREC Bluecam -Janvier 2009- et CEREC Omnicam -Aout 2012-)

Avant de se «lancer dans le monde de la CFAO» le Dr Duret conseille de tester les différents systèmes avec ses propres modèles, ne pas utiliser un modèle de démonstration. De préférence avoir un modèle avec 2 incisives centrales mandibulaires particulièrement hautes et rapprochées, préparées par le chirurgien dentiste. L'empreinte optique réalisée sur ce type de préparation est la plus difficile à numériser. Ne pas oublier d'aller jusqu'à la réalisation de la pièce prothétique pour bien contrôler la finition.

B. Indications

La CFAO au cabinet dentaire (surtout directe) a longtemps été limitée à peu d'indication : inlays/onlays, couronne unitaire.

Aujourd'hui, même en CFAO directe (CEREC) il n'existe presque plus de limites : il est possible de réaliser :

- Inlays/Onlays
- Facettes
- Couronne unitaire
- Bridge jusqu'à 85 mm de longueur avec la nouvelle unité d'usinage MC XL
- Pilier implantaire et couronne sur implant

	Cerec	Lava C.O.S	iTero	Trios
Inlays/Onlays	Oui	Oui	Oui	Oui
Facettes	Oui	Oui	Oui	Oui
Couronne unitaire	Oui	Oui	Oui	Oui
Bridge	<u>Direct</u> : jusqu'à 85mm de longueur <u>Laboratoire</u> : jusqu'à 14 éléments	Jusqu'à 14 éléments	Jusqu'à 14 éléments	Jusqu'à 14 éléments
Implants	<u>Direct</u> : création de guide chirurgical, de piliers implantaires individualisés en oxyde de zirconium Empreinte de pilier de numérisation	3i / Straumann	Implant unitaire : directement sur l'implant sinon à partir de piliers	Piliers de numérisation, propre à chaque fabricant
Traitement orthodontique	Non	Non	Oui	Oui



Figure 51 : Empreinte d'implants, Trios

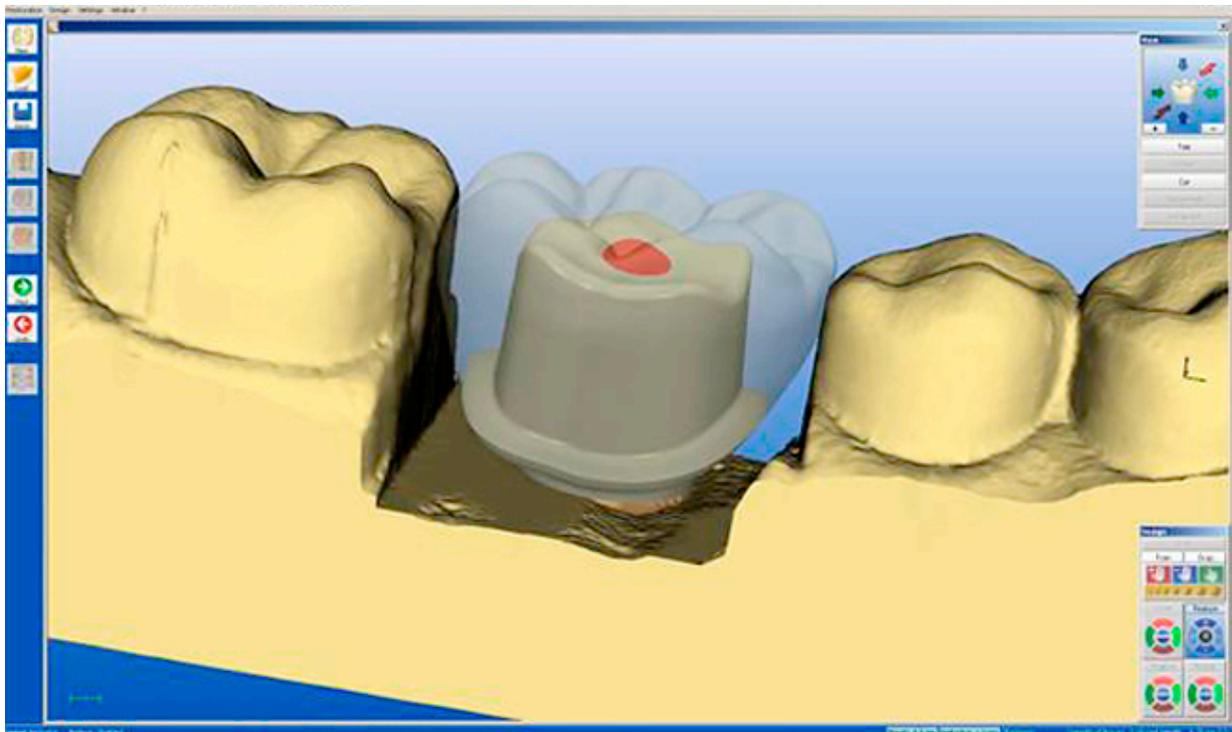


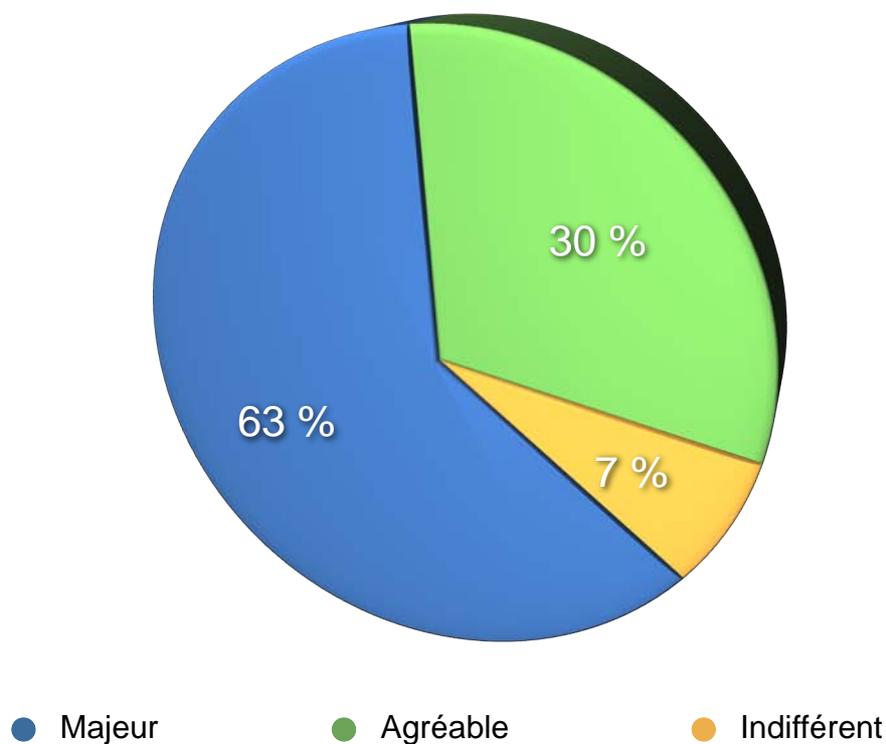
Figure 52 : Empreinte d'implant, système CEREC

C. Satisfaction des patients (24)

Malheureusement il existe très peu d'études disponibles concernant les empreintes optiques, seul le CEREC dispose d'un recul clinique de plus de 20 ans, permettant d'avoir quelques articles.

En 2008 à la faculté de chirurgie dentaire de Toulouse a été réalisée une enquête par Ghrenassia et coll. portant sur la satisfaction des patients et des praticiens sur le système CEREC Elle porte sur une population de 24 praticiens et de 45 patients.

Figure 37 : L'empreinte optique en une seule séance présente pour vous un avantage :



D. Gain de temps (39-20)

Cette nouvelle technologie modifie les protocoles du dentiste ainsi que ceux du prothésiste et permet un gain de temps appréciable. C'est le passage de l'âge de pierre à l'ère de l'informatique.

Au cabinet dentaire il n'est plus nécessaire de :

- Sélectionner le bon porte empreinte
- Choisir le matériaux adapté à la situation
- Réaliser un mélange homogène des matériaux
- Désinfecter les empreintes
- Emballer et livrer l'empreinte

Pour le prothésiste les avantages sont encore plus nombreux :

- Plus de réception de l'empreinte par un coursier
- Plus de découpe des excès de matériaux d'empreinte
- Plus de plâtre, de pins, d'attente de prise du matériau
- Plus de sciage du modèle positif unitaire, plus de détournage, plus de mise en occluseur...

Le patient peut aussi bénéficier de ce gain de temps lors de CFAO direct, en effet la réalisation de la pièce prothétique ce fera en une seule séance.

Certaines études ont évalué le gain de temps par prise d'empreinte dite «classique» aux silicones et une empreinte optique. John W. Farah et coll. ont évalués et comparés pour chaque technique le temps total d'empreinte (il comprend la préparation par l'assistante de la sélection des porte-empreintes, le mélange du matériau, le temps de prise des empreintes des 2 arcades avec mordure occlusal, il est estimé à 13 minutes) et le temps de prise d'empreinte (Il commence du mélange du matériau à la prise d'empreinte des 2 arcades et d'un mordure occlusal, il est estimé à 9 minutes).

Après seulement deux jours de formation et la réalisation d'une vingtaines de scannages le temps total d'empreinte et le temps de prise d'empreinte diminuent significativement et le temps de prise d'empreinte avec Lava C.O.S. est estimé entre 4 et 5 minutes. Cela représente une diminution de 50% du temps requis à la prise d'empreinte traditionnelle.

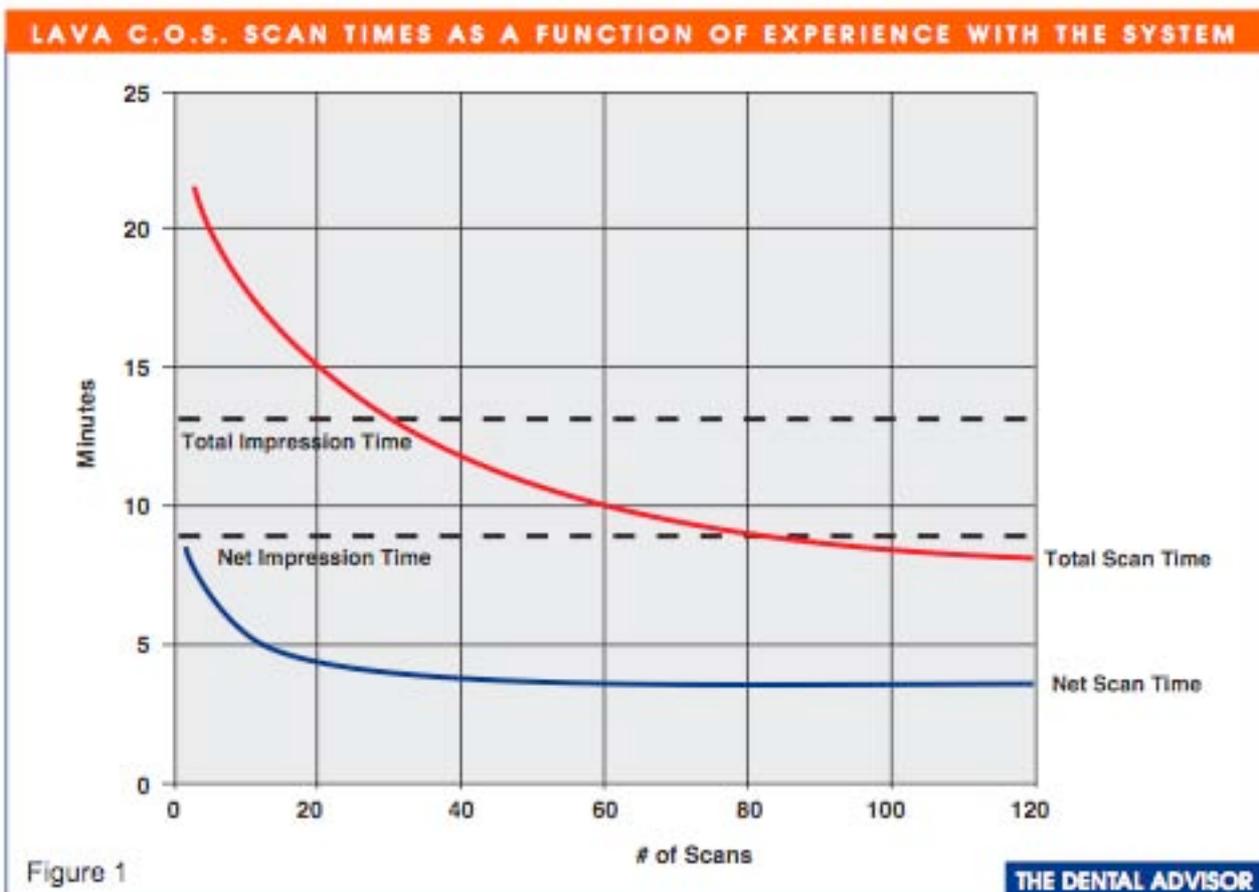


Figure 53 : Avantage du système Lava C.O.S. dans le temps de prise d’empreinte

E. Image du cabinet (7)

L’intégration de tels équipements au cabinet dentaire est un grand plus pour l’image du cabinet. Les patients sont souvent très intéressés et fascinés par cette technologie, ils perçoivent le praticien comme un professionnel de santé moderne avec des outils efficaces et de haute technicité. Ces nouveaux équipements sont également de très bons outils de communication avec le patient.

F. Réorganisation du temps de travail des actes prothétiques

Le passage à l’empreinte optique ne bouleverse pas beaucoup l’organisation de travail de l’équipe de soin, sauf dans le cas d’une utilisation de la CFAO direct (CEREC). Avec le système CEREC l’équipe de soin doit planifier de longs rendez-vous permettant la réalisation de la pièce prothétique en une seule séance.

Tableau comparant la durée de réalisation d'une restauration par CFAO directe et technique «classique» :

	CFAO Directe (1 séance)	Technique «classique» (2 séances)
Accueil du patient	2min	2min
Anesthésie	7min	7min
Préparation de la cavité	10min	10min
Réalisation du mordu	1min	1min
Empreinte de la préparation	0,5min	4min
Empreinte de l'antagoniste	0,5min	2min
Temporisation		3min
Libération du patient		3min
CAO	3min	
FAO	8min	
Accueil du patient		2min
Anesthésie		7min
Dépose de la temporisation		2min
Essai clinique	2min	2min
Maquillage	11min	
Procédure de collage	10min	10min
Finitions	2min	2min
Libération du patient	3min	3min
Total	60min	60min

Les patients sont traités plus rapidement et ne vont donc pas occuper le carnet de rendez-vous pendant trop longtemps. Même si le praticien devient plus rapide avec l'expérience, il existe des temps incompressibles comme l'usinage de la pièce prothétique, maquillage et cuisson. Pendant ces moments il peut être judicieux de réaliser d'autres soins sur le patient ou sur un autre patient.

G. Utilisation, Avantages et Courbe d'apprentissage (25-21-4)

Dans une étude réalisée par Graham, le système Lava C.O.S. permet une amélioration qualitative des actes de préparation des dents. La préparation peut être visualisée facilement sur l'écran d'ordinateur avec un grossissement x20, ce qui est un grand avantage par rapport à une vision en bouche ou sur une empreinte surfacique. Le praticien peut lui-même définir sa limite de préparation, de plus les nouvelles caméras permettent une vision en couleur permettant une meilleure distinction de la limite entre le tissu gingival et la dent. Le système Lava C.O.S. est le seul à proposer une vision 3D à l'aide de lunettes spéciales. La préparation peut être observée dans tous les sens et surtout dans une vision positive contrairement aux empreintes surfaciques où le jugement est limité à une vision en négatif.

Pour les praticiens venant d'acquérir un système d'empreinte optique la « mise en route » est assurée par le fabricant qui effectue les réglages de la machine et propose une formation « initiale » d'une journée dispensée par des formateurs agréés.

La maîtrise de la CFAO directe ne présente pas de difficulté majeure car les phases les plus délicates (préparations et collage) sont déjà connues et intégrées. L'empreinte optique est très proche de la prise d'une photo ou d'une vidéo. Cependant il reste une phase d'apprentissage inhérente à toute nouvelle procédure, après 40 à 60 empreintes optiques la vitesse de prise d'empreinte optimale est obtenue.

H. Adaptation (22-32-37-2-29-34-33)

Le niveau de preuve d'une étude caractérise la capacité de l'étude à répondre à la question posée. Il est donc important de vérifier quelques détails comme la puissance de l'étude c'est à dire la taille de l'échantillon qui doit être importante. De plus, il faut chercher l'absence de biais dans la méthode utilisée et dans l'analyse des données recueillies.

L'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES) a établi un système de grade correspondant au niveau de preuve scientifique des études.

Niveau de preuve scientifique des études	Force des recommandations (grade)
<p>Niveau 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Essais comparatifs randomisés de forte puissance -Meta-analyse d'essais comparatifs randomisés -Analyse de décision basée sur des études bien menées 	<p style="text-align: center;">A</p> <p style="text-align: center;">preuve scientifique établie</p>
<p>Niveau 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Essais comparatifs randomisés de faible puissance -Etudes comparatives non randomisés de faible puissance -Etudes de cohorte 	<p style="text-align: center;">B</p> <p style="text-align: center;">Présomption scientifique</p>
<p>Niveau 3 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Etudes cas-témoin 	
<p>Niveau 4 :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Etudes comparatives comportant des biais importants -Etudes rétrospectives -Séries de cas -Etudes épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale) 	<p style="text-align: center;">C</p> <p style="text-align: center;">Faible niveau de preuve scientifique</p>

L'intégration de l'empreinte optique dans les cabinets dentaires est aujourd'hui encore faible et récente (surtout en France), il existe à ce jour que très peu d'études, surtout à haut niveau de preuve (Grade A). Les seules études portant sur une durée convenable concernent le CEREC qui est disponible depuis plus de 20 ans et permet un recul convenable.

Fasbinder en 2006 a réalisé une étude comparant le joint de couronnes réalisées par méthode «classique» en céramique pressée avec celui des couronnes réalisées à l'aide du système CEREC. Les couronnes ont ensuite été collées à l'aide du Variolink II. Il est observé au niveau marginal un joint de 68.8 µm +/- 27.9 µm pour la méthode CEREC alors qu'il est de 69.1 µm +/- 26.9 µm pour la méthode «classique». Cette différence est peu significative. Cependant au niveau de l'adaptation marginale des parois, il est constaté que le système CEREC est significativement plus précis avec un joint de 86.6 µm +/- 20.9 µm contre 125.4 µm +/- 29.9 µm pour les couronnes réalisées au laboratoire. Cette étude est de faible niveau de preuve scientifique (Grade C), étant donné le nombre important de biais.

On peut donc conclure en disant que le système Cerec permet une meilleure adaptation pariétale que la méthode «classique».

Cette différence peut être expliquée par le fait qu'avec la méthode «classique» l'interprétation des limites sur le plâtre par le prothésiste peut engendrer quelques erreurs. Dans l'empreinte optique il n'y a aucune perte d'information du fait de la numérisation des informations.

D'autres études ont comparé le comportement à long terme des restaurations CEREC :

Concernant les Inlays/Onlays : étude menée par Posselt de 1990 à 1997 avec le CEREC 1 et de 1997 à 1999 CEREC 2, le taux de réussite à 9 ans a été de 95,5% avec la perte de 35 restaurations sur 2328, la plupart en raison de l'extraction de la dent support.

Ce qui est un taux supérieur aux restaurations or, composites, céramiques réalisées de manière indirecte. Il est à noter que cette étude est réalisée sur un échantillon important (n=2328) et sur une durée relativement longue (9 ans). Cependant, cette étude a été réalisée sur une période durant laquelle les propriétés des céramiques ainsi que les techniques de collage ont considérablement évolués. De plus le système CEREC n'est pas le même tout au long de l'étude. Ceci représente un biais qui la classe en grade B (selon l'ANAES) avec un niveau de preuve moyen.

Concernant les facettes : Wiedhahn et coll. ont comparé sur 9 ans le taux de réussite de 617 facettes réalisées à l'aide du CEREC 1 et 2. Les facettes posées sur élément prothétique ont enregistré 91% de réussite, sur dent naturelle le résultat était de 94%. Cette étude a permis de conclure que les facettes fabriquées au laboratoire et celles fabriquées par la méthode CEREC ont un comportement identique en longue durée. Nous avons ici une étude menée sur un échantillon de n=617, ce qui est un point positif mais l'étude n'a pas été menée sur le même système, ce qui biaise totalement les résultats, Grade C.

Concernant les couronnes : Une étude menée sur 65 couronnes totales en Vita Mark II fixées au moyen d'un composite dual. En quatre ans, 3 échecs ont été enregistrés (2 fractures de la céramique et un décollement), soit un taux de réussite de 95,4% selon la méthode Kaplan-Meier.

Encore une fois, comme beaucoup d'étude concernant les empreintes optiques nous pouvons signaler de nombreux biais. En effet l'étude est réalisé sur seulement 65

éléments et sur une durée très faible (4 années). Ces études n'apportent aucune preuve scientifique, Grade C selon l'ANAES.

Les autres systèmes comme Lava C.O.S. ont également montré que les empreintes optiques permettent une adaptation marginale significativement supérieure aux empreintes surfaciques. Cette différence est due à la réalisation des restaurations en 3D directement à partir du fichier dans le premier cas et la réalisation des restaurations en 3D après scannage des moules issues d'empreintes silicone. Cependant les deux méthodes restent cliniquement acceptables.

En 2012 Paul Seelbach et coll ont mené une étude *in vitro* comparative des différents systèmes d'empreintes optiques sur le marché (CEREC, iTero, Lava C.O.S.) et des empreintes conventionnelles.

Empreintes réalisées sur un modèle simplifié d'une molaire :

- 10 empreintes conventionnelles en 1 temps (technique «double mélange»)
- 10 empreintes conventionnelles en 2 temps (technique «wash technique»)
- 10 empreintes optiques avec le système CEREC
- 10 empreintes optiques avec le système iTero
- 10 empreintes optiques avec le système Lava C.O.S.

Les auteurs concluent par le fait que les couronnes conçues à partir d'une empreinte conventionnelle et celles conçues à partir d'une empreinte optique ont la même précision de fabrication.

Il est important de préciser que cette étude est réalisé *in vitro* et dans des conditions de laboratoire optimales sans considération des difficultés clinique qui peuvent exister :

Présence de salive ou de sang, accès aux limites de préparation facile ou réaction physique du patient. Ceci correspond à de nombreux biais, grade C selon l'ANAES.

Conclusion :

Nous avons vu au cours de ce travail le fonctionnement des différents systèmes d'empreintes optiques ainsi que leurs présentations, illustré par un cas clinique. Chaque système est différent d'un point de vue technique et d'utilisation mais les résultats cliniques sont identiques.

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

Cependant les bénéfices retirés sont importants : gain en prestige, qualité de résultats, confort pour le patient, modernisation de son activité clinique, utilisation du technologie dite «propre», facilement archivable et sans perte d'information.

L'un des plus gros inconvénient de cette nouvelle technologie est le cloisonnement des différents systèmes, aujourd'hui avec le format STL les fabricants commencent (difficilement) à ouvrir leurs systèmes mais il reste encore beaucoup de travail.

La vulgarisation de ces systèmes ne pourra se faire que par une baisse des coûts, une réelle ouverture des formats de fichier (ex : Appolo DI de chez Sirona) et une intégration ergonomique dans les units dentaires. L'empreinte optique prendra alors une place de choix dans la pratique quotidienne de la majorité des praticiens.

Comme l'avait imaginé François Duret il y a plus de 30 ans l'heure du «tout numérique» est à la porte des cabinets dentaires, il est probable que d'ici 5 ans une majeure partie des empreintes réalisées seront optiques.

Caractéristiques	Cerec BlueCam	Cerec Omnicam	Apollo DI	Lava C.O.S.	iTero	Trios
Distributeur	Sirona	Sirona	Sirona	3M/ESPE	Straumann ?	Henry Schein / B-next
Mode de prise de Vue	Photographier	Filmer	Filmer	Filmer	Photographier	Filmer
Dimensions (LxE)	20 x 25 mm	16 x 16 mm	N/A	13 x 13 mm	23 x 22 mm	20 x 15 mm
Poids	270g	313g	100g	390g	600g	N/A
Distance/profondeur de champ	Caméra au contact de la dent	Faible écart entre la caméra et la dent	Faible écart entre la caméra et la dent	Faible écart entre la caméra et la dent	Caméra au contact de la dent	Faible écart entre la caméra et la dent
Données Ouvertes	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Poudrage	Oui	Non	Oui (- 50% Blue Cam)	Oui	Non	Non
Fabrication des maîtres modèle	Stéréolithographie (SLA)	Stéréolithographie (SLA)	Stéréolithographie (SLA)	Stéréolithographie (SLA)	Usinage	Stéréolithographie (SLA)
Cout envoi fichier	Gratuit (Coût bloc céramique en cabinet : 15 à 25€)	Gratuit (Coût bloc céramique en cabinet : 15 à 25€)	Gratuit	3000€/an ou 15,55€/unité	3990 € HT/an 22€ quadrant 24€ quadrant étendu 28€ arcade complete	Gratuit
Prix	25 000 € TTC 40 000 € avec chambre d'usinage	110 000 € avec chambre usinage MC XL	19 990 € TTC	32 900 € TTC	29 000 € HT	36 000 € TTC 42 000 € TTC couleur

Table des illustrations :

Figure 1 : François Duret et son équipe

Figure 2 : Cerec mark 1

Figure 3 : schéma de la méthode de triangulation sans lumière structurée

Figure 4 : Projection d'un point en triangulation par lumière structurée

Figure 5 : Projection d'une ligne en triangulation par lumière structurée

Figure 6 : Projection d'un masque en triangulation par lumière structurée

Figure 7 : Illustration du moiré optique

Figure 8 : Illustration du moiré électronique (système CEREC)

Figure 9 : Méthode de focalisation-défocalisation colinéaire ou AWS (Lava C.O.S.)

Figure 10 : Illustration du système parallèle confocale

Figure 11 : Représentation graphique comparant le modelage manuel par rapport à la fabrication par CFAO

Figure 12 : Techniques de fabrication

Figure 13 : Illustration de mouvements 5 axes (Everest de Kavo)

Figure 14 : Représentation graphique comparant le modelage manuel par rapport à la fabrication par CFAO

Figure 15 : Impression 3D

Figure 16 : Microfusion

Figure 17 : Caméra Cerec Bluecam

Figure 18 : Cerec Connect

Figure 19 : Bloc céramique en disilicate de lithium

Figure 20 : Cerec Omnicam

Figure 21 : Empreinte couleur par l'Omnicam

Figure 22 : Apollo DI

Figure 23 : Gestion des empreintes avec iTero

Figure 24 : Système Lava C.O.S.

Figure 25 : Gestion des empreintes avec Lava C.O.S.

Figure 26 : Caméra Trios

Figure 27 : Empreinte couleur avec Trios

Figure 28 : Inlay-Core avec Trios

Figure 29 : Caméra E4D

Figure 30 : Système Direct Scan

Figure 31 : Système Cyrtina

Figure 32 : Système IOS FastScan

Figure 33 : Panoramique dentaire de M. P.

Figure 33 : Evaluation du point d'inflexion

Figure 34 : Radio et Photo de 46, après dépose du composite

Figure 35 : Produit de poudrage et prise en main de la caméra

Figure 36 : Empreintes optiques des 3 zones (1-2-3)

Figure 37 : Mise en occlusion des modélisations 3D

Figure 38 : Modélisation 3D de la préparation

Figure 39 : Tracé de la limite prothétique

Figure 40 : Onlay modélisé

Figure 41 : Outils de modélisations

Figure 42 : Modélisation du support mésial

Figure 43 : Contrôle de l'occlusion et de l'épaisseur

Figure 44 : Bloc de céramique avant usinage

Figure 45 : Onlay avant maquillage

Figure 46 : Maquillage puis cuisson

Figure 47 : Onlay après maquillage et cuisson

Figure 48 : Collage de la pièce prothétique

Figure 49 : Evaluation du nombre de prothèses CFAO nécessaires pour un RSI

Figure 50 : Empreinte d'implants, Trios

Figure 51 : Empreinte d'implant, système CEREC

Figure 52 : Diagramme satisfaction empreinte optique

Figure 53 : Avantage du système Lava C.O.S. dans le temps de prise d'empreinte

Bibliographie :

1. 3SHAPE (laboratoire)

Trios

<http://www.3shapedental.com>

2. BINDL A.

Survival of Ceramic Computer-aided Design/Manufacturing Crowns Bonded to Preparations with Reduced Macroretention Geometry.

Int J Prosthodont **18(10)**: 219–224.

3. BINHAS E.

CFAO : les bonnes questions à se poser avant d'investir

Fil Dent 2010;**51**:54-57.

4. BOUQUET F, FONTENEAU C,

Intégration de la CFAO directe au cabinet dentaire.

Réal Clin 2009;**20(4)**:243-248.

5. BROCHU M.

CAO/FAO dentaire.

Andrew John publishing incorporation, septembre 2007.

6. CADENT

iTero

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

7. CAZIER S, CHIEZE JB et HRYCENKO MA

Place de la CFAO directe en omnipratique

Réal Clin 2009;**20(4)**:213-215.

8. D4D (laboratoire)

E4D

<http://www.e4d.com>

9. DUMINIL G, ALLARD Y et ANDRÉ J.

Caméra de prise d'empreinte l'heure du choix ?

Inf Dent 2011;**93(40/41)**:45-59.

10. DURET F, DURET B, PELISSIER B,

CFAO, histoire vécue, le temps des pionniers.

Inf Dent 2007;**89(29)**:1659-1668.

11. DURET F, DURET B, PELISSIER B,

CFAO, futur prometteur.

Inf Dent 2007;**89(29)**:1704-1712.

12. DURET F, PELISSIER B, FAGES M.

Empreintes optiques et perspectives d'avenir.

Stratégie Prothétique 2010;**10(4)**

13. DURET F, PELISSIER B.

Différentes méthodes d'empreinte en CFAO dentaire.
Encycl Médi-Chir 2010 (Elsevier Masson SAS, Paris), médecine buccale, 2010;28-740-R-10

14. DURET F.

Année 2010 année CFAO.
Réal Clin 2009;20(4):213-215.

15. DURET F.

La prothèse de demain sera CFAO ou...
Clinic 31(3):128-133.

16. DURET F.

Histoire et résumé sur ma thèse «empreinte optique».
<http://www.francoisduret.com>

17. DURET F.

Un peu d'histoire avant de parler d'aujourd'hui et de demain.
Le fil dentaire 2010;51:12-17.

18. DURET F.

la CFAO dentaire 30 ans après.
Prof Chir Dent 2003;2(2):5-9.

19. FAGES M, BENNASAR B, RAYNAL J et coll.

L'empreinte optique intra-buccale en pratique quotidienne.
Stratégie Prothétique 2011;11(2):107-119.

20. FARAH J et BROWN L,

Integrating the 3M ESPE Lava C.O.S. into daily clinical practice
The Dental Advisor 2009;12:1-4.

21. FARAH J, BROWN L,

Integrating iTero into a busy dental practice
The Dental Advisor 2010;18:1-12

22. FASBINDER D.

Adaptation of CEREC Crowns.
Mörmann WH, ed. State of the art of CAD/CAM restorations.
Berlin : Quintessence, 2006.

23. FRIGERIO F.

3-dimensional surface imaging using Active Wavefront Sampling.
Massachusetts Institute of Technology (MIT) 2006.
<http://hdl.handle.net/1721.1/38258>

24. GHRENASSIA C, LUCAS S, FARRE P et GUYONNET J.

Le système CEREC, enquête de satisfaction praticiens/patients
Cah Prothèse 2008;141:65-72

25. GRAHAM L.

Lava C.O.S. makes me a better dentist
Dental Product Shopper

26. JONES J

How the E4D Dentist System changed my practice for the better
Gen Dent 2009;6:1-2

27. KAFFEL H.

Les techniques de prototypage rapide.
<http://www.icriq.com>

28. Logozzo S, Franceschini G, Kilpelä A et coll.

A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry.
Int J Med Technol 2011;5(1):1-8

29. OTTO T.

Computer-Aided Direct All-Ceramic Crowns: 4 Year Results.
In:Mörmann WH, ed. State of the Art of CAD/CAM Restorations, 20 Years of CEREC.
Berlin: Quintessence, 2006: Poster

30. PERELMUTER S, DE COOMAN J, DEGRANGE M ET COLL.

Les céramo-céramiques. Dossier ADF.
Paris : Association Dentaire Française, 2005

31. PERELMUTER S.

La prothèse céramo-céramique par CFAO, Collection réussir.
Paris Quintessence International

32. Posselt A, Kerschbaum T.

Longevity of 2328 chairside CEREC inlays and onlays,
Int J Comput Dent; 6: 231–248.

33. SEELBACHP.

Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow
Clin Oral Invest 2012

34. SEREK A.

Clinical Performance of the Lava C.O.S. 2010 part 1 : results of the fit checker analysis et
part 2 : Results of the clinical evaluation
<http://www.3m.com>

35. SIEGBERT W et RUDIGER L.

Application de la stéréolithographie dans la technique dentaire.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 2003;113(8):879-884.

36. SIRONA (laboratoire)

Cerec
<http://www.sirona.fr>

37. WIEDHAHN K.

CEREC Veneers: Esthetics and Longevity.

In : Mörmann WH,ed. State of the Art of CAD/CAM Restorations, 20 Years of CEREC.
Berlin: Quintessence, 2006:101–112.

38. <http://www.cnifpd.fr>

Guide de la CFAO dentaire

39. ZEBOULON S.

Utilisation du système Lava C.O.S. de 3M ESPE par le chirurgien-dentiste.
Fil dent 2010;51:36-38.

40. ZEBOULON S.

Les modèles SLA.
Stratégie Prothétique 2010;**10**(5):363-368.

JOUANJEAN Guillaume : Les empreintes optiques au cabinet dentaire. 81f ; 53 Fig. ; 3 Tabl. ; 40 réf. ; 30 cm. (Thèse : Chir.Dent.; Nantes ; 2013)

RESUME

L'heure du «tout numérique» est à la porte des cabinets dentaires; les empreintes optiques sont une des bases de cette «révolution». Le but de ce travail est de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de ces nouveaux types d'empreintes, d'en comprendre les aspects techniques puis de comparer les différents systèmes présents sur le marché. L'intérêt majeur de ces nouvelles techniques est d'obtenir une empreinte précise, sans perte d'information au moment de sa réalisation jusqu'à la conception de la pièce prothétique de façon entièrement numérique. Nous illustrerons notre travail à l'aide d'un cas clinique sur la réalisation d'un inlay/onlay par méthode de CFAO directe. A travers une analyse critique de la littérature scientifique, nous chercherons à établir les bénéfices et les contraintes des empreintes optiques au cabinet dentaire.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Prothèse conjointe

MOTS CLES MESH :

Conception assistée par ordinateur - Computer-Aided-Design
Empreinte dentaire - Dental impression
Technique de prise d'empreinte - Dental impression Technique
Céramique - Ceramic

JURY

Président : Professeur GIUMELLI B.
Directeur : Professeur AMOURIQ Y.
Assesseur : Docteur BODIC F.
Assesseur : Docteur GRALL P-Y.

ADRESSE DE L'AUTEUR



44000 NANTES

guillaume@jouanjean.net