Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens-dentistes dans leurs cabinets en 2015

Bruno Delaunay

▶ **To cite this version:**

Bruno Delaunay. Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens-dentistes dans leurs cabinets en 2015. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. hal-01931857

HAL Id: hal-01931857
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01931857

Submitted on 23 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

ACADÉMIE DE NANCY-METZ

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

FACULTÉ D'ODONTOLOGIE

Année 2016 N° 9050

THÈSE

Pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN

CHIRURGIE DENTAIRE

Par

Bruno DELAUNAY

Né le 03 avril 1987 à NANCY (54)

Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens dentistes dans leurs cabinets en 2015

Présentée et soutenue publiquement le vendredi 04 mars 2016

Examinateurs de la thèse :

Pr J-M. MARTRETTE :	Professeur des Universités	Président
Dr J. PENAUD :	Maitre de Conférences des Universités	Directeur
Dr J. SCHOUVER :	Maitre de Conférences des Universités	Co-Directeur
Dr P. CORNE :	Assistante Hospitalo-Universitaire	Juge

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Vice-Doyens : Pr Pascal AMBROSINI –- Dr Céline CLEMENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr M. VIVIER – Pr ARTIS -

Doyen Honoraire : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur Emérite : Pr J.P. LOUIS

Maître de conférences CUM MERITO : Dr C. ARCHIEN

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme Mme M. Mlle Mlle M.	**DROZ Dominique (Desprez)** JAGER Stéphanie PREVOST Jacques HERNANDEZ Magali LAUVRAY Alice MERCIER Thomas		Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maitre de Conférences Assistante * Assistante Assistant *
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M. Mlle Mlle	**FILLEUL Marie Pierryle** EGLOFF Benoît BLAISE Claire LACHAUX Marion		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Assistante Assistante
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme M. Mme	**CLEMENT Céline** CAMELOT Frédéric LACZNY Emily		Maître de Conférences * Assistant * Assistante
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. Mme M. M. Mlle Mlle	**AMBROSINI Pascal** BISSON Catherine JOSEPH David PENAUD Jacques BÖLÖNI Eszter PAOLI Nathalie		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante Assistante *
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	Mme M. Mlle Mlle M. Mlle M.	**GUILLET-THIBAULT Julie** BRAVETTI Pierre PHULPIN Bérengère BALZARINI Charlotte DELAITRE Bruno KICHENBRAND Charlène MASCHINO François		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante Assistant Assistante * Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. M.	**YASUKAWA Kazutoyo** MARTRETTE Jean-Marc		Maître de Conférences * Professeur des Universités *
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. M. M. M. M. Mlle M.	**MORTIER Éric** AMORY Christophe BALTHAZARD Rémy ENGELS-DEUTSCH Marc BON Gautier MUNARO Perrine VINCENT Marin		Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistante Assistant *
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. M. Mme Mme M. M. M. Mlle	**DE MARCH Pascal** SCHOUVER Jacques VAILLANT Anne-Sophie CORNE Pascale GILLET Marc HIRTZ Pierre KANNENGIESSER François SIMON Doriane		Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante * Assistant Assistant * Assistant Assistante
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme Mme M. M.	**STRAZIELLE Catherine** MOBY Vanessa (Stutzmann) SALOMON Jean-Pierre HARLE Guillaume		Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Associé

Souligné : ***responsable de la sous-section*** * temps plein

Mis à jour le 01.11.2015

Par délibération en date du 11 décembre 1972
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'elle n'entend leur donner
aucune approbation ni improbation.

REMERCIEMENTS

À notre Président :

Monsieur le Docteur Jean-Marc MARTRETTE

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

Doyen de la Faculté d'odontologie de Nancy

Chef de Service du CSERD de Nancy

Docteur en Sciences Pharmacologiques

Habilité à diriger des Recherches

Sous-section : Sciences biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie).

Vous nous faites l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Nous avons su apprécier la qualité de votre enseignement, votre disponibilité et votre gentillesse, durant toutes nos années d'études.

Nous vous prions de trouver ici le témoignage de notre gratitude et de notre plus profond respect.

À notre juge et directeur de thèse

Monsieur le Docteur Jacques PENAUD

Docteur en chirurgie dentaire

Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Maître de Conférences des Universités

Praticien Hospitalier Sous-section : Parodontologie

Vous nous avez fait le très grand honneur d'accepter la direction de cette thèse.

Nous vous remercions pour votre écoute et vos conseils. Pendant toutes nos études vous avez su être disponible. Vous nous avez fourni un enseignement précieux et de qualité.

Veuillez trouver ici nos plus sincères remerciements et l'expression de notre grand respect.

À notre juge et co-directeur de thèse

Monsieur le Docteur Jacques SCHOUVER

Docteur en chirurgie dentaire
Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier Sous-section : Prothèse

En témoignage de notre profonde gratitude pour l'accueil que vous nous avez réservé et la spontanéité avec laquelle vous avez accepté d'encadrer ce travail.

Qu'il vous soit témoigné ici toute notre estime pour toutes les connaissances que vous nous avez enseignées avec patience pendant nos études.

Soyez assuré de notre plus profond respect.

À notre juge

Madame le Docteur Pascale CORNE

Docteur en chirurgie dentaire
Assistante Hospitalo-Universitaire
Sous-section : Prothèse (58-02)
Institut Jean Lamour (UMR 7198 CNRS)
Equipe 401

Nous apprécions l'honneur que vous nous faites en acceptant de faire partie de notre jury de thèse.

Nous vous remercions sincèrement de l'attention que vous avez bien voulu porter à notre travail.

Veuillez trouver ici le témoignage de notre respectueuse considération et de toute notre estime.

À mes parents,

Vous êtes des parents géniaux. J'ai, grâce à vous, une belle et grande famille. Vous nous avez inculqué des valeurs fondamentales qui font de nous ce que nous sommes.

Papa : grâce à tes très longues journées au cabinet, tu as fait de notre enfance une enfance heureuse où nous n'avons jamais manqué de rien. Merci de m'avoir supporté et soutenu pendant toutes ces années. Nos balades VTT et nos sessions de snowboard restent des grands souvenirs. Tu m'as appris la valeur des choses.

Tu seras toujours mon modèle et un exemple à suivre.

Maman : Tu as sacrifié ta carrière pour tes enfants. Tu es une maman formidable.

On ne peut compter le temps que tu as passé à nous transporter de gauche à droite, à t'occuper de nous.

Tu nous as toujours fait passer avant toi. Tu as pris le temps de nous transmettre à tous les 5 des principes fondamentaux : la famille, le respect, le partage et l'effort.

Je suis un homme épanoui grâce à vous et ces quelques lignes ne suffisent pas à exprimer mon amour pour vous.

Merci du fond du cœur, je vous aime.

À mes frères et sœurs,

Juliette, Camille, Rémi et **Jean-Baptiste**. Vous êtes ma famille, vous êtes ce que j'ai de plus cher. Vous serez toujours dans mon cœur. Je suis fier d'être votre frère et je serai toujours là pour vous.

Je vous aime !

À Nathalie,

La femme que j'aime, déjà 4 ans à tes cotés.

Merci pour ton soutien dans les bons et les moins bons moments.

Merci de m'avoir attendu pendant que je rallongeais mon cursus universitaire, tu es une femme extraordinaire, j'ai une chance incroyable d'être avec toi. J'aime notre vie, elle nous réserve encore beaucoup de beaux moments et plein de merveilleuses surprises.

Avec tout mon amour.

À mes beaux-frères,

Jérémie et **Fred**.

Je suis heureux que mes sœurs vous aient rencontré.

Encore une fois, bienvenue dans la famille !

Et c'est quand vous voulez pour un petit coup de main ou de peinture ☺

À mes grands-parents,

Papi **Paul** parti trop tôt

Papé **Jacques** et Mamé **Françoise**, nos vacances chez vous et sur la TAPOUILLE ainsi que vos sourires sont inoubliables. Tous les 3 vous nous manquez !

Mamie **Lucie**, tes tartes aux pommes, et les dimanches avec les petits cousins me laissent de superbes souvenirs.

À ma grande famille,

Mon parrain, ma marraine, tous les oncles, tantes, cousins, cousines, neveux et nièces.

On ne se voit malheureusement pas suffisamment mais je pense à vous.

À ma belle-famille,

Gracias por su hospitalidad y generosidad. Su hija es una persona maravillosa, podeis estar muy orgullosa de ella.

À mes amis d'enfance,

PH, PEK et Nicolas.

Malgré l'éloignement, je pense souvent à vous. Votre amitié est aussi ancienne que précieuse.

À mes amis de lycée,

Henri, **Kuikui, Gregouze, Simon, Gauthier, Marine, Armelle, Marion, J-B, Mathieu**

Nos fêtes de nouvel an et nos apéros chez Mémé ont toujours été de grands moments d'amitiés. Vous serez toujours les bienvenus, peu importe le pays !

Je sais que votre amitié est sincère et durable.

Pyves : merci pour mon premier boulot à la fondation PASSADORI & Co.

Tu n'imagines pas comment ta RMX et ma MAF me manquent !

Aux BBA,

Benjamin et **Alexis**, ces années de lycées et de P1 sont marquées pour toujours dans ma mémoire, les soirées QCM PIZZA dans ma petite chambre ainsi que toutes les soirées bien méritées qui s'en sont suivies pendant quelques années…

Merci pour tous ces moments passés. L'avenir nous réserve encore plein de bons moments ! Mes amis, vous êtes irremplaçables.

À Anne lise,

Je te dois beaucoup, énormément : merci pour ces longues après-midi de révision et tes fiches qui m'ont permis de me préparer comme il fallait pour les examens. Ton aide a toujours été précieuse ! Tu resteras pour moi aussi, LA copine de fac que je n'oublierai jamais !

Je te souhaite tout le bonheur que tu mérites.

À mes amis de la fac,

Edouard : Edi Black Jones, je ne sais pas ce qui restera le plus longtemps dans ma mémoire : nos cours d'anglais ou notre technique pour déménager les canapés ☺

Loïc : Si tu as bien une qualité, c'est que tu ne te plains jamais ! Surtout quand il faut nous suivre sur les pistes.

Fady : Je suis heureux de partager la passion de l'automobile avec toi, le Nurburgring nous attend toujours !

PA : Mr le rouge ! Surtout garde ton sourire et ton humour, un futur prometteur t'attend dans le 25 !

Pierro : dit l'américain, j'espère que malgré l'atlantique on continuera à se voir.

En tout cas une chose est sûre, tu as la tête dure !!

Rémi : nos sessions de ride et de pastis restent de grands souvenirs ! Toute l'équipe attend la prochaine avec impatiente.

Tibo : j'aime la façon dont tu vis tes passions, toujours à 100%, automobile, ski, tir notamment ton amour de la neige et de tes copains (en même temps) !

Victor : je te dois le plus gros bleu de ma vie, ma cuisse te remercie (le loueur aussi !) Merci pour toutes ces soirées et pour nous avoir fait découvrir le vrai Tignes, ces hors-pistes et ces bars …

Marion : ton hospitalité et ta gentillesse sont sans limite, merci encore

Mr Crododile : merci de m'avoir supporté pendant toutes ces sorties VTT et la fameuse « récupération active », ça vaut bien une petite bringue ;)
Clément et **Franky** : Vous êtes des coéquipiers plus qu'à la hauteur ! Vous aussi vous méritez une bringue ! Merci à la franky-familly
Eloïse, Tim, Charlotte, Maxime, Fabien, Flavien, Thibaud, Aurélie, Elodie et tous ceux que j'oublie.
Hugues : merci pour cet accueil chaleureux que tu m'as fait à Pontarlier, ta ville et tes amis sont formidables.
Je te souhaite plein de bonheur et de réussite professionnelle

Aux Dr Deleuze et Reberin,
Vous avez été les premiers à me faire confiance. Je n'oublierai jamais votre gentillesse à mon égard et les jeudis de Nîmes.

Aux Dr Dubois, Baldy, Boucheras, Penez et Bernabei,
Merci pour la confiance que vous avez placée en moi pour prendre soin de vos patients.

Aux différents représentants commerciaux, **Mr Cahen** et les autres qui ont bien voulu me consacrer du temps pour m'expliquer leurs produits et me faire avancer dans mon travail.

À mes binômes de fac et collègues de stages.
Guillaume B, Guillaume F, Julia, Bertrand, Pierre, Alice, Alex.

À tous les autres,
Clémence, Charlène, Camille, Johanne, Nasr, Emilie, Joao.

À mes nouveaux amis londoniens, belges …
Raj, Maria, Liesbeth, Gil, Martijn, Mathilde, Tony, Jess, Hadwin, Angela , Els, Stefan, Lesley, Kristof…

À Madame Mayer, avec tous mes remerciements pour votre aide dans la mise en page finale.

Sommaire :

Introduction : 19

1. Description et présentation des différentes technologies : (1)(2) 21

1.1 Triangulation 22

1.1.1 Triangulation avec projection de lumière structurée (CEREC BLUECAM (Sirona)) 23

1.1.2 Triangulation avec projection laser (IOS FastScan) 26

1.2 Imagerie confocale parallèle 27

1.2.1 Imagerie confocale parallèle statique : iTero 1 (Cadent 2009-2011) 28

1.2.2 Imagerie confocale parallèle dynamique : iTéro 2 (Cadent/Align 2011), 3Shape TRIOS, Cerec Omnicam (Sirona) 29

1.3 Active Wave Front Sampling ou Défocalisation : LAVA C.O.S. (3M ESPE) 29

2. Description des principales caméras intra-orales 31

2.1 Cerec Bluecam (SIRONA)(7) 31

2.2 Cerec Omnicam (SIRONA) 33

2.3 Cerec Apollo DI (SIRONA) 34

2.4 LAVA COS (3M ESPE) (8)(9) 35

2.5 3M ™ True definition Scanner 38

2.6 ITéro 1 et 2 (CADENT/STRAUMANN – CADENT/Align)(7) 38

2.7 Itéro Element 40

2.8 TRIOS® (3Shape) 40

2.9 Carestream CS3500 43

2.10 Dental Wings 44

2.11 Condorscan de Biotech™ 45

2.12 Lythos de Kavo™ 46

2.13 IOS Aadva de GC™ 47

2.14 Planscan® de Planmeca™ 48

3. Différents domaines d'application 49

3.1 Implantologie avec les caméras Sirona 49

3.1.1 Planification implantaire (13) 49

3.1.2 Enregistrement de la position de l'implant 52

3.1.3 Enregistrement du pilier et réalisation d'une couronne 53

3.2 Implantologie avec le LAVA cos (1) 55
3.3 Orthodontie 55
3.3.1 Caméra ITéro® 55
3.3.2 Caméra Trios de 3SHAPE(15) : 56
3.3.3 3M TRUE définition Scanner (16,17) 57
3.3.4 Omnicam 58
3.4 Prothèse Fixée 59
3.4.1 Inlay / onlay 59
3.4.2 Overlay/ Vprep 59
3.4.3 Endocouronne (18)(19,20) 60
3.3.4 Couleur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.5 Prothèse amovible (23–26) 62
4. Avantages des systèmes d'empreinte optique 65
4.1 Précision de l'enregistrement (27)(28)(29)(30) 65
4.2 Enregistrement des limites périphériques : (31) 65
4.3 Validation automatique de l'empreinte : 66
4.4 Gain de temps 66
4.5 Empreinte optique inaltérable 70
4.6 Transmission au prothésiste 70
4.7 Confort du patient et intérêt dans la communication 70
4.8 Ouverture des formats de prise d'empreinte 71
4.9 Adaptation marginale 73
4.10 Longévité 74
4.11 Manipulation / Apprentissage (43) 76
5. Inconvénients : 77
5.1 Coût actuel : 77
5.2 Courbe du temps d'apprentissage : 78
5.3 Taille des caméras : 79
5.4 Evolution technologique : 81
5.5 L'enregistrement des limites : 82
6. Comparaison des différentes caméras optiques : 83
6.1 Etude in vitro de ENDER de 2011 83
6.2 Etude in vitro de Vat der Meer d'aout 2012 83
6.3 Etude in vitro de Seelbach de septembre 2013 85

6.4 Etude in vitro de Patzelt de novembre 2013 87
6.5 Etude in vivo de Brawel de décembre 2013 89
6.6 Etude in vitro de Schaefer de juin 2014 91
6.7 Etude in vitro de Nedelcu de décembre 2014 92
6.8 Etude in vitro de Ender de janvier 2015 95
6.9 Etude in vivo de Boeddinghaus de novembre 2015 97
7. Discussion ; L'empreinte optique a-t-elle sa place dans un cabinet dentaire d'omni-pratique ? 100
7.1 Les besoins. 102
7.2 Les différentes présentations 103
7.3 Poudrage et couleurs. 104
7.4 Taille de la caméra et de l'embout. 104
7.5 La précision 105
7.6 Inlay-core 106
7.7 Implantologie et Orthodontie 107
7.8 Format d'enregistrement. 108
7.9 Evolution vers CFAO directe 109
7.10 Les tarifs. 110
7.11 Tableau récapitulatif 112
Conclusion : 113
Bibliographie 115

Table des figures :

Figure 1 : Méthode de triangulation sans lumière structurée ou stéréovision (3) 21
Figure 2 : Schéma de la méthode de mesure par projection d'un point en triangulation par lumière structurée.(3) 24
Figure 3 : méthode par triangulation par projection de trame ou de grille à pas variable. (3) 24
Figure 4 : Méthode du moiré optique. (3) 25
Figure 5 : Méthode d'interférométrie électronique par décalage de phase (CEREC) (3) 25
Figure 6 et Figure 7 : Illustration règle de Scheimpflug (Wikipedia) 26
Figure 8 : Illustration règle de Scheimpflug 27
Figure 9 : Illustration du système parallèle confocale (5) 28
Figure 10 : Méthode de focalisation-défocalisation ou AWS (Lava C.O.S)(6) 31
Figure 11 : Caméra Bluecam et Unité centrale associée 32
Figure 12 : Caméra Omnicam 34
Figure 13 et Figure 14 : Caméra Omnicam AF et AI 34
Figure 15 : Apollo DI 35
Figure 16 et Figure 17 : Caméra Lava COS et son kart 37
Figure 18 et Figure 19 : Itéro 2 39
Figure 20 et Figure 21 : Caméra Itero Element 40
Figure 22 : Inlay core et couronne réalisés en une seule étape CFAO TRIOS et Tenons calibrés 41
Figure 23 et Figure 24 : Trios Kart et Trios Pod 42
Figure 25 et Figure 26 : Trios Chairside, et présentation avec et sans manche 43
Figure 27 et Figure 28 : Caméra Carestream CS3500 44
Figure 29 et Figure 30 : Caméra DentalWings (DentalWings) 45
Figure 31 et Figure 32 : Caméra Condorscan 46
Figure 33 et Figure 34: Caméra Lythos 47
Figure 35 et Figure 36 : Caméra Aadva 48
Figure 37 et 38 : PlanScan et Planmill 40 49
Figure 39 : Planification de la position de l'implant grâce au logiciel Sirona™ Galaxis 51
Figure 40 : Planification du guide implantaire via l'interface du CeRec® 51
Figure 41 : Guide implantaire unitaire usiné au cabinet (MCXL) 51
Figure 42 : Guides mutli-implants par la société SICAT® 52

Figure 43 : Tibase avec son Scanbody (Sirona) 54
Figure 44 : Tibase avec pilier personnalisé et couronne 54
Figure 45 : Scanbody avec Scanpost et Tibase adapté 54
Figure 46 : Gauche : ScanPost sans/avec Scanbody 54
Figure 47 : Droite : Tibase sans/avec Scanbody 54
Figure 48 : Chaine Numérique du TRIOS (3Shape) 56
Figure 49 et 50 : Caméra True definition 57
Figure 51 : Système lingual Incognito 58
Figure 52 : VITA easyshade® 61
Figure 53 : Bras à retour de force 63
Figure 54 : Conception des PAPIM 64
Figure 55 : Visualisation des contre-dépouilles 64
Figure 56 : Disque après usinage, Système Digistell 64
Figure 57 : Chaine CEREC CFAO Semi direct 72
Figure 58 : Ligne de finition acceptable et inacceptable pour les auteurs (39) 74
Figure 59 : Systèmes d'empreinte optique intra-buccale sur chariot, ... 79
Figure 60 : Illustration des tailles des caméras 80
Figure 61 : Bluecam et Omnicam de Sirona 80
Figure 62 : Modèle d'étude (44) 84
Figure 63 : Schéma de l'étude (45) 86
Figure 64 : Modèle d'étude (45) 86
Figure 65 : Schéma de l'étude de Patzelt (46) 88
Figure 66 : Silicone light recouvert de putty avec vue des différentes coupes (29) 90
Figure 67 : Vue des 4 points de mesure par coupe (29) 90
Figure 68 : Code couleur pour représenter la précision d'adaptation interne (1ere ligne) et précision marginale (2nd ligne) (28) 91
Figure 69 : Dimension du maitre modèle. (47) 93
Figure 70 : Image comparative des différents scanner sur modèle TC (47) 94
Figure 71 : Maître modèle de l'étude de Ender (48) 95
Figure 72 : Section de réplique (49) : 98
Figure 73 : Synthèse des résultats pour l'adaptation marginale.(49) 99
Figure 74, 75, 76 : Chaine CFAO Directe / Semi-directe / Indirecte (50) 101

Table des tableaux :

Tableau 1 : Résultats de l'étude de PATZELT, LAMPRINOS, STAMPF de 2014 69
Tableau 2 : Résultats de l'étude de THORDRUP de 2006 75
Tableau 3 : Tarifs des caméras 77
Tableau 4 : Résultats des mesures des distances de Vat der Meer de 2012 84
Tableau 5 : Résultats des mesures des angulations de Vat der Meer de 2012 85
Tableau 6 : Résultats de l'étude de Seelbach de septembre 2013 86
Tableau 7 : Résultats de l'étude de Patzelt de novembre 2013 88
Tableau 8 : Résultats de l'étude de Brawel de décembre 2013 90
Tableau 9 : Résultats de l'étude de Schaefer de juin 2014 92
Tableau 10 : Résultats de l'étude de Nedelcu de décembre 2014 93
Tableau 11 : Résultats de l'étude de Ender de janvier 2015 96
Tableau 12 : Résultats de l'étude de Boeddinghaus de novembre 2015 98
Tableau 13 : Synthèse des résultats des différentes études comparant la précision d'enregistrement des scanners intra-oraux 105
Tableau 14 : Synthèse des résultats des différentes études traitant de la precision des couronnes 106
Tableau 15 : Partenariat entre caméras et appareils orthodontiques. 108

Introduction :

Rendre leur sourire à nos patients est une des plus belles ambitions du métier de chirurgien dentiste. Elle en est aussi une des plus complexes et dépend de nombreux facteurs humains et matériels.

Une prothèse est toujours le fruit d'un compromis entre le désir des patients de dents parfaites : blanches, bien alignées et peu chères et les contraintes techniques et financières des hommes de l'art que sont les chirurgiens-dentistes et les prothésistes.

Le praticien doit choisir un plan de traitement durable, harmonieux et fonctionnel pour le patient et doit être très rigoureux et méticuleux dans chaque phase de son travail : du premier rendez-vous à la pose de la prothèse.

Le prothésiste a, lui aussi, une grande responsabilité, c'est lui qui crée cette prothèse dont le patient a besoin.
Il doit prendre en compte la demande du praticien ainsi que les contraintes techniques imposées par les matériaux pour produire la prothèse la plus proche du naturel qui s'intègrera parfaitement en bouche.

Entre les deux, nous avons L'INDISPENSABLE EMPREINTE.
Elle fût autrefois en plâtre et promettait de bonnes séances de puzzle, puis les matériaux élastiques firent leur apparition et révolutionnèrent l'empreinte.
Le praticien, le prothésiste et le patient eurent accès à plus de confort et de précision.

Et si l'empreinte subissait une nouvelle révolution ?

La première thèse sur les empreintes optiques est soutenue en 1973 par le professeur DURET à LYON. Sous le titre « Empreinte optique », il y décrit parfaitement les techniques utilisées en CFA0 (Conception Fabrication Assistée par ordinateur) :

- la lecture tridimensionnelle par interférométrie
- la conversion analogique digitale

- la modélisation par ordinateur grâce à l'utilisation de dents théoriques pour construire entièrement la prothèse (intrados et extrados).

Le professeur Duret a également défini les règles de fonctionnement des machines-outils et de l'usinage par soustraction.
C'est grâce à ce travail et à tous ceux qui suivront que la dentisterie française est considérée comme la fondatrice de la CFAO médicale et dentaire.

Nous verrons dans un premier temps les différentes technologies intégrées aux principales caméras d'empreinte optique sur le marché.
Nous étudierons ensuite les caractéristiques de chacune et leurs différents domaines d'application, nous verrons les avantages et les inconvénients des différents systèmes avant de passer en revue les études comparatives des différentes caméras puis en conclusion, nous nous poserons la question de la place de ce système d'empreinte dans un cabinet d'omnipratique dentaire.

1 Description et présentation des différentes technologies : (1)(2)

Les caméras intra orales :

Leur technologie est basée sur le principe de la vision stéréoscopique humaine (vision binoculaire). Les deux yeux servent de récepteurs et observent un élément à une distance spécifique inconnue à partir d'un même angle connu.

La distance entre les yeux est connue du cerveau qui traduit l'information reçue de chacun des deux yeux en une image tridimensionnelle ; il peut alors évaluer la distance à laquelle se trouve l'objet, on parle de stéréovision en lumière non structurée.

Malheureusement, les mesures effectuées par stéréoscopie en lumière non structurée ont une précision de 250 à 400 µm ; ce qui n'est pas suffisant pour réaliser une empreinte dentaire de qualité.

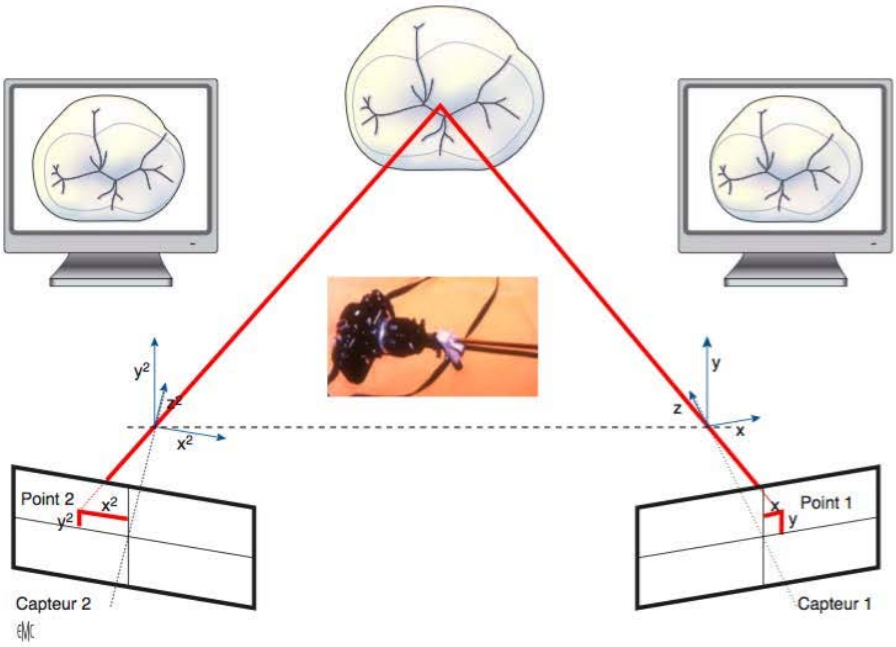


Figure 1 : Méthode de triangulation sans lumière structurée ou stéréovision (3)

Les caméras de numérisation 3D :

Elles utilisent à la place des yeux :

- Un projecteur de lumière qui projette des rayons sur un objet (Led, laser…)
- Un récepteur de lumière qui va analyser la déformation de la lumière sur le volume (caméra)

C'est l'ordinateur qui a le rôle du cerveau et qui va calculer à l'aide d'un logiciel la déformation des images reçues pour recréer les coordonnées 3D du point de surface de l'objet.(4)

On parle alors de méthode par triangulation active en lumière structurée.

1.1 Triangulation

Principe :

Cette méthode a pour but de déduire la mesure du volume en calculant la déviation du rayon incident par rapport au rayon réfléchi au contact de la surface dentaire.

Le rayon lumineux incident est émis par une diode et passe par une petite ouverture au niveau de l'objectif de la caméra.

Puis le rayon réfléchi traverse l'objectif par une seconde ouverture, et forme alors un triangle entre les 2 ouvertures de la caméra et la surface dentaire.

On enregistre chaque point de la surface touchée par le rayon lumineux incident en mesurant l'intensité du rayon réfléchi (ou reflété).

Puis par triangulation, on peut déterminer le volume (ou la profondeur) par calcul géométrique.

Des milliers de points avec des coordonnées 3D (X, Y, Z) sont enregistrés par seconde par l'ordinateur. Ce nuage de points affiché par l'ordinateur représente la surface numérisée.

La finesse du rayon incident influe directement sur la précision d'enregistrement de la caméra puisque la surface dentaire éclairée est plus petite.

Les dernières caméras utilisent désormais une lumière bleue à la place de la lumière rouge car la longueur d'onde est beaucoup plus petite donc plus précise.

1.1.1 Triangulation avec projection de lumière structurée (CEREC BLUECAM (Sirona))

En triangulation par lumière structurée, c'est un motif lumineux composé d'une série de lignes lumineuses claires et sombres générées à travers une première grille qui est projeté sur la surface dentaire. Puis les faisceaux réfléchis passent au travers d'une deuxième grille et sont comparés électroniquement. Cela donne lieu à un phénomène interférentiel qui conduit à l'apparition de courbes de niveau.
Le principe de mesure repose sur l'analyse de la variation entre le motif incident traversant la première grille (faisceau bien parallèle et équidistant) et le motif réfléchi par la surface dentaire et modifié par celle-ci.
Une interférence entre les 2 parcours de lumière se produit pendant la superposition des 2 franges de lumière, incidentes et réfléchies.
Le décalage de phase produit un moiré. Ce phénomène, découvert pour la première fois par J.W. RAYLEIGH en 1874 est l'expression de l'interférence spatiale par la création des courbes de niveaux.

Il est à noter que la surface de réflexion ne doit pas être modifiée par la nature de la surface explorée. Or, la dentine, l'émail, la gencive, les amalgames et autres matériaux ne reflètent pas la lumière de la même manière. Il faut donc corriger cette différence en préparant les surfaces à explorer. Pour cela, on va poudrer les surfaces dentaires (coating). Ce poudrage permet une réflexion uniforme de la lumière sur toutes les surfaces intra-buccales à enregistrer sans créer d'artefact pendant l'enregistrement.

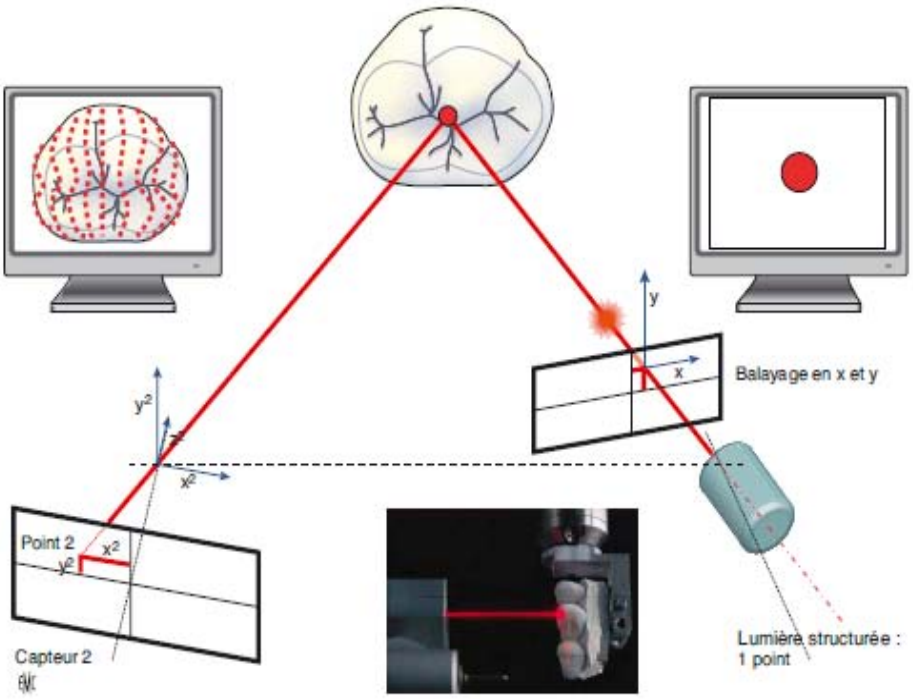


Figure 2 : Schéma de la méthode de mesure par projection d'un point en triangulation par lumière structurée.(3)

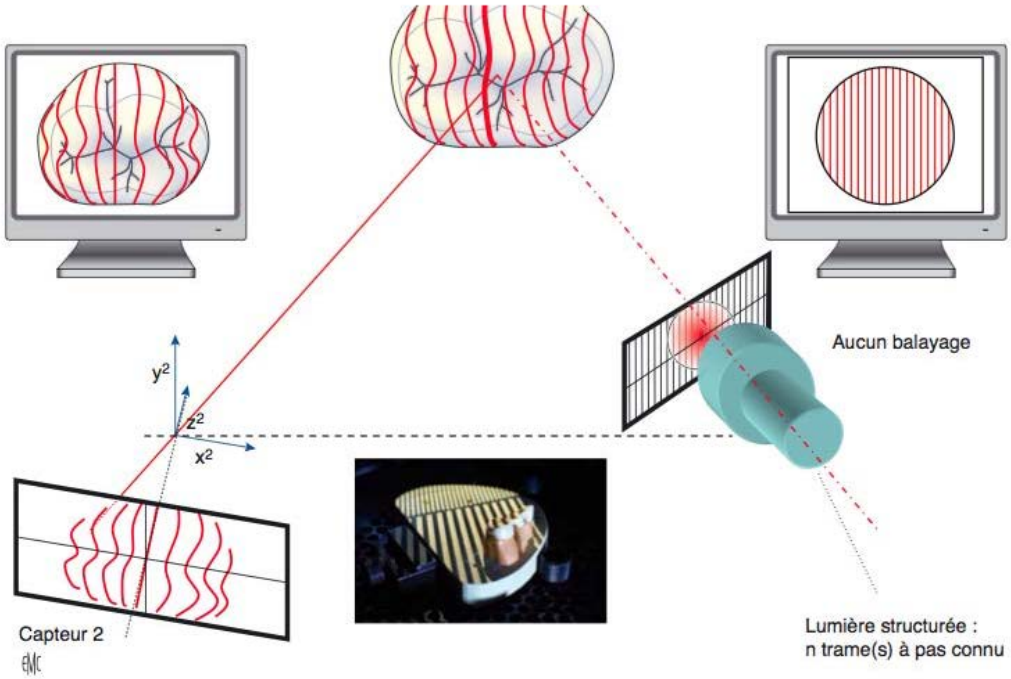


Figure 3 : Méthode par triangulation par projection de trame ou de grille à pas variable. (3)

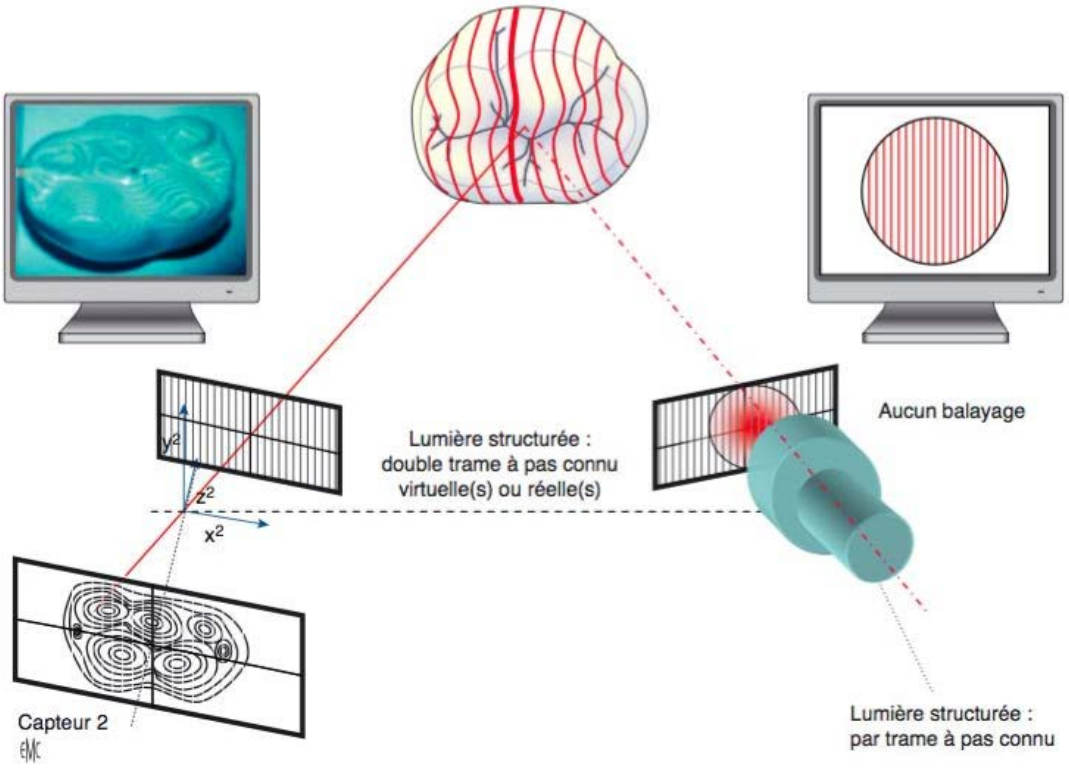


Figure 4 : Méthode du moiré optique. (3)

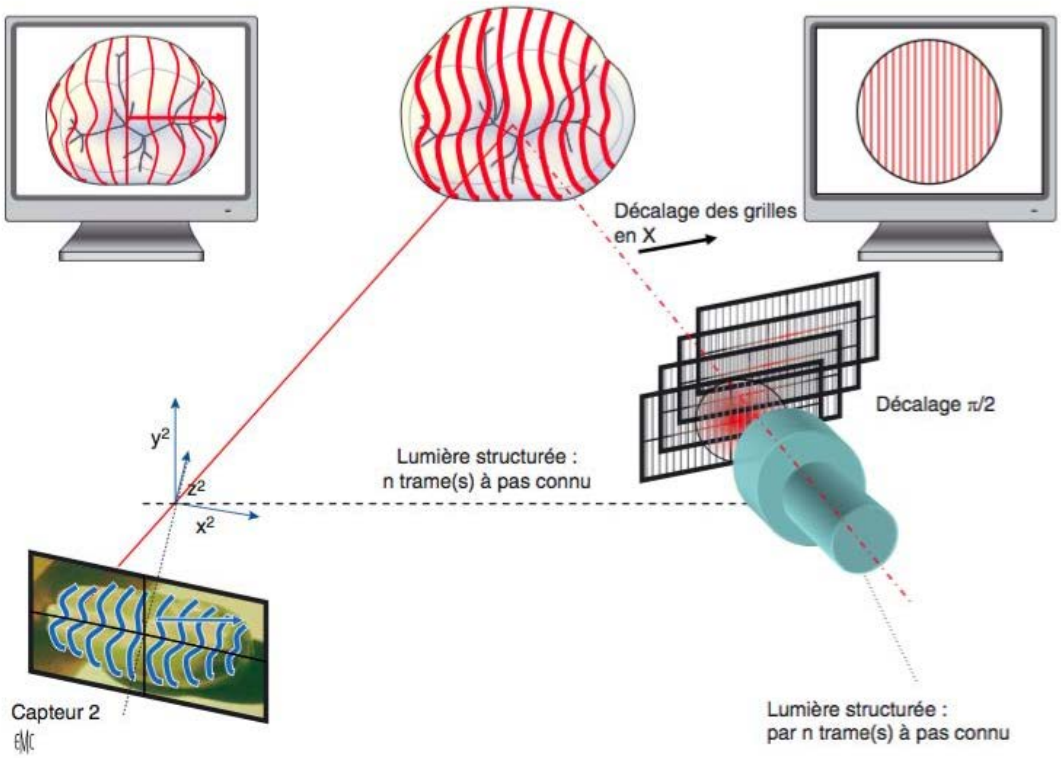


Figure 5 : Méthode d'interférométrie électronique par décalage de phase (CEREC) (3)

1.1.2 Triangulation avec projection laser (IOS FastScan)

L'IOS FastScan utilise ce procédé de mesure par triangulation avec projection laser. Un balayage rectiligne est effectué par un faisceau laser à une vitesse de 4 cm par seconde. On peut enregistrer plusieurs dents avec 3 saisies successives statiques sur zone poudrée (occlusal, vestibulaire, et lingual). Une mise au point se fait de façon automatique en suivant le principe de Scheimpflug (Brevet Britannique N°1196), utilisé en photographie classique.

Ce principe de 1904 explique que pour assurer la netteté de l'image, les 3 plans : objectif, film et objet doivent être parallèles ou se couper en un même point. Le film est donc inclinable.

Cela permet d'augmenter la profondeur de champ pour corriger une vue en perspective.

Une modification du plan focus se fait automatiquement pour les zones floues (donc trop proches ou trop éloignées des plans focus)

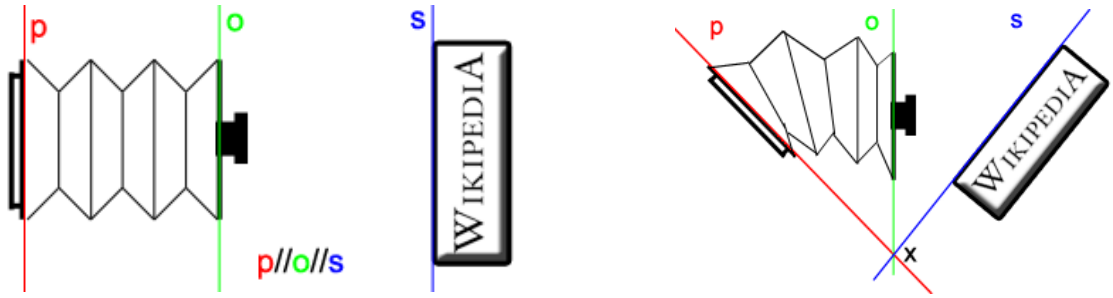


Figure 6 et Figure 7 : Illustration règle de Scheimpflug (Wikipedia)

Légende : P : Plan Film

O : Objectif

S : Sujet photographié

X : Point de croisement des 3 plans

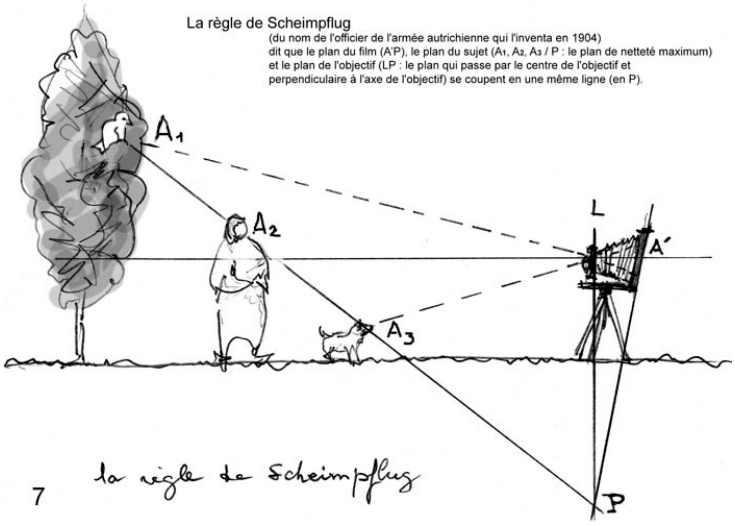


Figure 8 : Illustration règle de Scheimpflug

(www.cameraboussat.fr)

Légende : Plan objet : A1-2-3-P

Plan de l'objectif : LP

Plan du Film : A'P

1.2 Imagerie confocale parallèle

Principe :

Elle est basée sur le scannage laser et optique de la dent et du parodonte pour les reproduire numériquement. Cette technique permet d'acquérir une série d'images nettes dite « focus » à différentes profondeurs de champ grâce à un procédé appelé « sectionnement optique » issu de la microscopie confocale parallèle. (Principe inventé par Minsky en 1955).

Il y a tout d'abord émission d'un rayon lumineux vers la surface dentaire, puis réflexion des différents rayons provenant des différents plans de la préparation. Le scanner utilise un diaphragme variable appelé « trou d'aiguille » (pinhole) qui ne laisse passer que le flux lumineux en provenance du plan à la profondeur focale. Les rayons lumineux provenant du plan en-dessous ou au-dessus du plan focal ne passent pas à travers l'orifice.

La lumière qui peut passer l'orifice provient du plan focal, elle est alors dénommée : lumière confocale.

Le scanner utilise un système optique télécentrique qui permet de faire apparaître un objet avec une taille constante indépendamment de leur distance par rapport au prisme. On peut saisir une préparation profonde grâce à une profondeur de champ suffisante.

1.2.1 Imagerie confocale parallèle statique : iTero 1 (Cadent 2009-2011)

En imagerie confocale parallèle statique, il y a un moteur dans le dispositif optique confocal qui permet de faire varier le focus rapidement, ce qui permet d'enregistrer un maximum de données pendant le scannage.

Le faisceau laser traverse d'abord une ouverture, il est ensuite concentré grâce à une lentille focalisatrice puis projeté sur la surface dentaire. Le rayon réfléchi par la surface dentaire est collecté par un capteur CDD (charge-coupled device).

Le scanner Itero projette 100 000 points de lumière laser sur une profondeur de 15mm divisée en 300 coupes focales, chaque point est espacé de 50 micromètres.
Seuls les faisceaux réfléchis avec une intensité maximum sont convertis par le capteur CDD en 1/3 de seconde et permettent la reconstruction de la structure tridimensionnelle des dents.

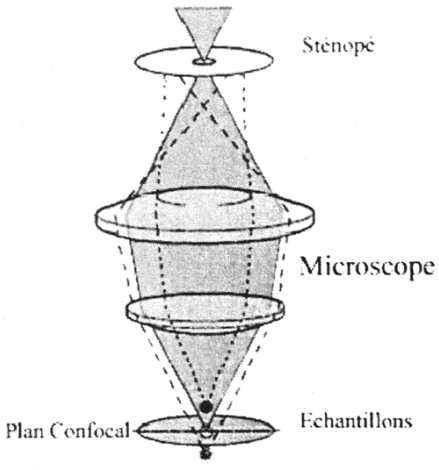


Figure 9 : Illustration du système parallèle confocale (5)

1.2.2 Imagerie confocale parallèle dynamique : iTéro 2 (Cadent/Align 2011), 3Shape TRIOS, Cerec Omnicam (Sirona)

Cette technique dérive de l'imagerie confocale parallèle statique. On a ajouté au scanner la possibilité d'enregistrer en filmant et non plus en photographiant. La saisie en « full motion » permet d'accélérer l'acquisition.
Les ingénieurs ont regroupé 2 techniques :

- Imagerie confocale parallèle
- Triangulation avec projection de lumière structurée (Bluecam)

La mesure par confocale est couplée avec des procédés d'interférométrie qui permettent la projection de lignes qui forment un quadrillage en lumière laser (iTero2) ou en lumière structurée (Omnicam, 3Shape).
Le capteur CCD enregistre les franges d'interférences produites par la superposition d'ondes émises par deux sources lumineuses. On enregistre une variation d'intensité à l'aide du CCD, puis l'ordinateur à l'aide de puissants calculs donnera l'image en 3D.

La société 3Shape a développé sa propre technique d'imagerie confocale parallèle pour sa caméra TRIOS®, nommée : Ultra Fast Optical Sectioning.
Au lieu de projeter des franges comme sur l'Omnicam, la TRIOS projette une multitude de points et modifie plus rapidement son plan focal. Le capteur CCD enregistre alors chaque pic d'intensité pour récréer l'objet en 3D sur l'ordinateur.

1.3 Active Wave Front Sampling ou Défocalisation : LAVA C.O.S. (3M ESPE)

L'échantillonnage actif du front d'onde est une méthode basée sur la technique de l'imagerie de surface 3D. Le but est de mesurer la profondeur (la distance d'un point de la surface dentaire) en utilisant une technique de photographie classique : le defocus.
Une image apparait nette quand elle est dans le plan focal de la lentille.
En changeant la taille d'ouverture de l'objectif, on change la longueur focale. L'image peut apparaître floue, c'est à dire qu'elle n'est plus dans le plan focal de la lentille.

En utilisant 2 ouvertures dans l'objectif, on obtient deux images de l'objet avec un décalage. Cette différence permet de calculer la profondeur pour connaître les données 3D.

La caméra LAVA C.O.S. utilise le système Active Wave Front Sampling mais elle utilise une lentille avec un obturateur tournant qui possède une ouverture légèrement désaxée. L'obturateur tourne sur le même axe que l'axe optique de la lentille.

La tête de la caméra est équipée de plusieurs leds bleus qui éclairent de façon pulsatile la surface dentaire à enregistrer.
Les rayons lumineux sont concentrés par le système de lentilles jusqu'à des capteurs CDD qui enregistrent la position des points au niveau de la surface dentaire à 3 temps différents qui représentent chacun une autre position de l'obturateur pendant son mouvement de rotation.
On aura alors 3 perspectives différentes selon 3 axes de prise de vue à un temps t1, t2 et t3.
Le système enregistre 20 vues par seconde comprenant chacune 10 000 points, soit 200.000 points par seconde.
Grâce à ces trois images enregistrées quasi simultanément, on génère informatiquement les éléments de l'image 3D.

L'ordinateur calcule, grâce à des algorithmes, l'information de profondeur en tenant compte dans le calcul des 3 rayons des cercles de focus générés sur le capteur CDD pendant toutes les rotations, de la position et du trajet de la caméra.
Ce processus récrée un modèle tridimensionnel en temps réel avec un enregistrement dynamique ou « full motion ».

Ce qui différencie la technique AWS d'une autre, c'est qu'elle ne requiert qu'un chemin optique pour capturer des informations de profondeur, car il n'y a pas d'angle entre la lumière émise et la lumière réfléchie. L'axe de vision et l'axe de projection sont presque confondus.

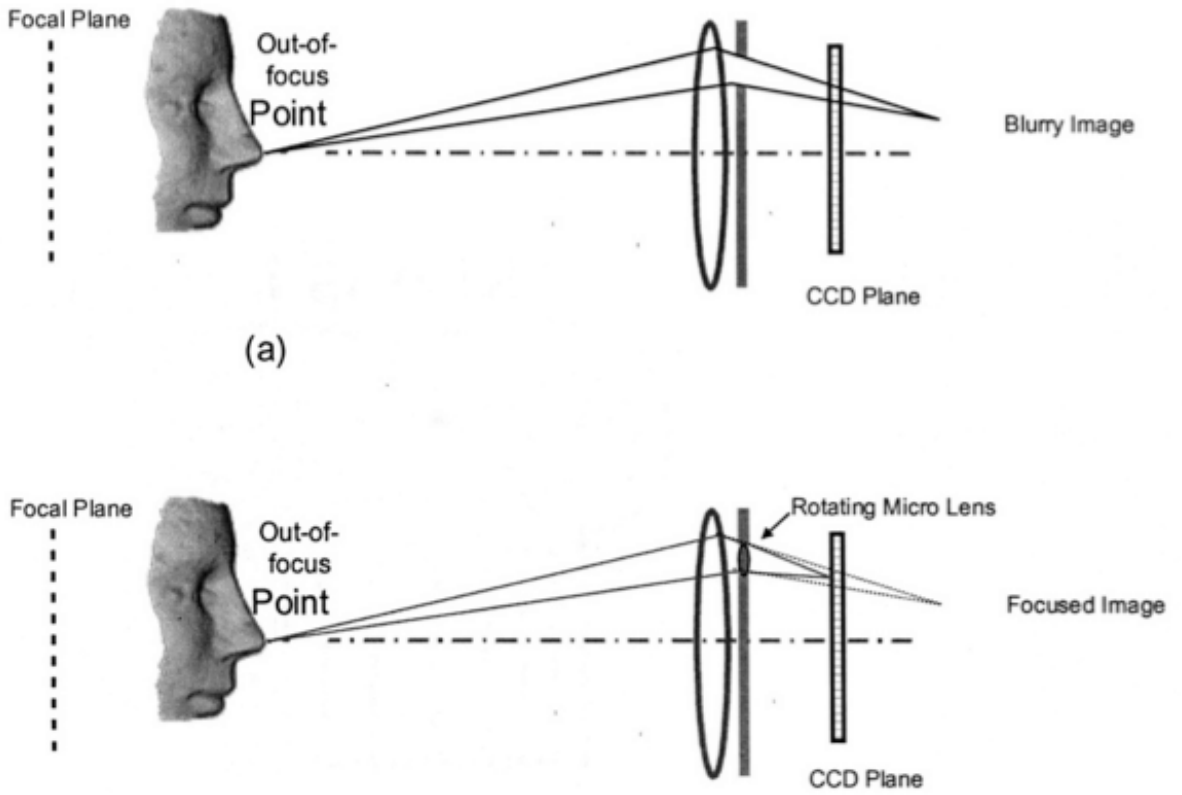


Figure 10 : Méthode de focalisation-défocalisation ou AWS (Lava C.O.S)(6)

2 Description des principales caméras intra-orales

2.1 Cerec Bluecam (SIRONA)(7)

La Cerec® (CEramic-REConstruction) AC BLUE CAM est apparue en 2009, c'est la caméra de l'unité de prise d'empreinte de SIRONA ® pour réaliser les prises de vue. Elle est associée au logiciel CEREC 3D et le plus souvent à une unité d'usinage CEREC.

Elle est plus fiable et plus précise que l'ancienne version. SIRONA a amélioré les composants optiques électroniques, mais a aussi changé la longueur d'onde du rayon incident.

La caméra CEREC BLUECAM utilise de la lumière bleue d'environ 470nm alors que le modèle précédent CEREC 3D REDCAM utilisait de l'infrarouge, d'une longueur d'onde d'environ 820nm, augmentant ainsi la précision (de l'ordre de 60%.) de 42 à 37 µm (Mehl A. Investigation of the optical measurement precision of a new intraoral camera.

Unpublished study carried out by the Departement of computer aided restorative dentistry ZURICH University).

Le parallélisme des rayons ainsi que la profondeur de champ accrue permet d'améliorer la précision de l'empreinte optique.

Cette caméra utilise toujours le principe de triangulation active mais avec un plus faible angle de triangulation que la précédente. Le temps de saisie de 17ms est deux fois plus rapide que la REDCAM. La caméra possède aussi une focale plus grande (14mm), ce qui permet un positionnement plus facile, ainsi qu'une technologie auto-stabilisatrice qui évite les mouvements incontrôlés et donc les images floues.

On a remplacé les filtres polarisés par un système breveté de positionnement incliné des lentilles ce qui permet d'améliorer considérablement le signal bruit, et qui améliore les détails.

Avant l'enregistrement, une fine couche de bioxyde de titane doit être pulvérisée sur les surfaces dentaires et gingivales périphériques.

La caméra est à déclenchement automatique ce qui limite les risques de flou puisque la prise de vue n'est effectuée que si la caméra est stable.

La tête de la caméra est maintenue à 37°C grâce à un socle chauffant, ce qui évite l'apparition de buée.

Le logiciel CEREC® 3D fait un tri automatique et ne garde que les meilleurs clichés pour construire le modèle 3D pendant la prise d'empreinte et permet donc au praticien de juger de la qualité de son enregistrement en temps réel. Il peut enregistrer une arcade complète, et ajouter des vues supplémentaires pour compléter des clichés ratés.

L'occlusion est enregistrée par la prise d'une vue vestibulaire en OIM (occlusion d'intercuspidie maximale) ou avec un silicone d'occlusion qui est ensuite numérisé.

Figure 11 : Caméra Bluecam et Unité centrale associée

(Sirona)

2.2 Cerec Omnicam (SIRONA)

En 2012, SIRONA présente sa nouvelle caméra d'empreinte optique équipée d'une nouvelle technologie : l'imagerie confocale parallèle dynamique.
Cette nouvelle caméra ne nécessite plus de poudrage. Désormais, elle filme, contrairement à la Bluecam qui photographie, et elle enregistre les couleurs.
Sa nouvelle technologie lui permet d'avoir une profondeur de champ de 18 mm pour enregistrer l'intérieur de la dent préparée pour recevoir une endocouronne.
Pour enregistrer l'occlusion, on filme la face vestibulaire des dents quand les arcades sont placées en occlusion.
La caméra Omnicam est présente sous forme de système Chairside avec un kart comprenant : unité centrale, écran, clavier et la caméra qui possède un support pour chauffer sa tête.
Pour l'enregistrement, la caméra doit être positionnée entre 0 et 15 mm de la dent et parallèlement aux surfaces à enregistrer. L'ordinateur crée en temps réel et affiche à l'écran le modèle en 3D représentant les arcades dentaires.
Cette caméra est vendue seule environ 45000 €, le prix est élevé mais cela s'explique par l'absence d'abonnement mensuel pour utiliser la plateforme Sirona Connect et l'envoi illimité de fichiers au prothésiste. Une cotisation pour devenir membre du Club Sirona est demandée mais elle couvre les mises à jour des logiciels, la mise à niveau de l'informatique tous les 2 ans et le SAV.
Pour recevoir les fichiers Sirona et les convertir en format STL (afin de pouvoir par la suite les transmettre à la machine outil) le prothésiste doit acheter un logiciel « Sirona Connect prothésiste » d'une valeur d'environ 2000€, puis profitera gratuitement des mises à jour. Ensuite, le prothésiste n'a pas besoin de payer d'abonnement pour recevoir les fichiers.
Dans plus de 80% des cas, l'Omnicam est vendue avec une machine outil (pack Premium à 110000€) pour usiner prothèses, gouttières, piliers implantaires, etc. au cabinet.

A l'ADF 2015, Sirona a présenté l'Omnicam sous deux nouvelles formes :

- AF : version USB connectable sur un PC spécifique.
- AI : version avec la caméra installée au fauteuil mais elle reste déplaçable facilement.

Figure 12 : Caméra Omnicam

(Sirona)

Figure 13 et Figure 14 : Caméra Omnicam AF et AI

(Sirona)

2.3 Cerec Apollo DI (SIRONA)

L'Apollo DI est la dernière caméra mise sur le marché par SIRONA. Il s'agit d'un kart de taille réduite comprenant un écran tactile multi-touch et une caméra filaire.
Elle est plus petite et plus maniable que les deux autres caméras de SIRONA.
Elle nécessite un poudrage léger pour l'enregistrement comme la Bluecam, filme comme l'Omnicam, mais enregistre en noir et blanc.
Elle utilise, comme les précédentes, le portail « SIRONA connect » pour l'envoi de fichiers d'empreinte numérique en format standardisé : STL.
Il s'agit uniquement d'une caméra de prise d'empreinte.

Le praticien ne peut pas modéliser ou choisir l'anatomie de sa future prothèse.
Elle est bien moins vendue que sa concurrente et cousine l'Omnicam, malgré son prix inférieur de 20000€.

Figure 15 : Apollo DI

2.4 LAVA COS (3M ESPE) (8)(9)

Le Lava ®™ C.O.S. (chairside oral scanner) a été introduit sur le marché dentaire américain et présenté lors du congrès international à Minneapolis (USA) en mai 2008. Issu d'études menées par le MIT de Boston, par la société BRONTES ® et par le centre de recherche de 3M(10).
Il est dévoilé en mars 2009 pour l'Europe pendant l'IDS (international Dental Show) de Cologne et obtient le prix ADF de l'innovation 2009.
Il se présente sous la forme d'un système tout en un sur roulettes où l'on trouve la caméra, un ordinateur, un écran tactile et un pulvérisateur de poudre.

Cette caméra ne prend plus de cliché mais filme en continu et en 3D et nécessite un poudrage préalable des surfaces dentaires et des tissus mous.
On peut également revenir en arrière et ajouter des prises de vue pour compléter les erreurs d'enregistrement.
Elle utilise la technique de triangulation passive avec un objectif à diaphragme excentré tournant, AWS.
Le scanner numérique est composé de 3 capteurs CDD enregistrant 20 images 3D par seconde. On peut donc obtenir une arcade complète en 2 à 3 minutes avec une précision de 6 à 11 µm.
Pendant le scannage une indication de distance dent/caméra est donnée par la concordance d'un disque jaune et du cercle pointillé. Une zone bleue apparaît à l'écran pour aider l'opérateur à orienter la caméra.
L'enregistrement peut être interrompu et repris, si un geste trop rapide se produit, ou si le patient ressent le besoin de fermer la bouche. Le praticien peut repartir de n'importe quel point de l'arcade.
Le protocole préconise d'enregistrer l'arcade avec un trajet de la caméra en zigzag, afin d'enregistrer le maximum de zones.

Le Lava C.O.S. possède une caméra avec une petite extrémité (13.2mm) ce qui la rend assez maniable, même dans les petites bouches. Il est possible de prendre en main la caméra comme un stylo, ou à pleine main, la deuxième main libre servant alors à guider la tête de la caméra.
La prise de vue s'effectue à main levée.
Elle peut être déclenchée par un interrupteur sur la caméra ou par un contacteur placé sur l'écran tactile. Une gaine plastique jetable est positionnée sur la caméra pour la protéger.
Une fois l'enregistrement terminé, le fichier numérique est envoyé via le logiciel Lava™ Lab software vers un laboratoire partenaire (via internet de façon sécurisée), qui s'occupe de la CAO (conception assistée par ordinateur) grâce au logiciel Lava™ Design Software, qui le renvoie ensuite à un centre de fabrication Lava, où seront fabriqués les modèles stéréo lithographiques issus de CAO.
Le modèle est fabriqué par l'envoi de rayons laser ultraviolets photopolymérisants dans un bain de résine liquide (époxyl ou monomères acrylates). Le laser polymérise tous les

points d'une couche transversale, couche par couche au fur et à mesure que la plate-forme s'enfonce dans la cuve.

Il existe plusieurs centres de fabrication de modèles stéréo-lithographiés dans le monde, LAVA COS utilise un fournisseur aux USA et un en Italie.

D'après une étude in vivo de Syrek et collaborateurs publiée en juillet 2010 (11), les couronnes, produites à partir d'une empreinte numérique, réalisées avec le LAVA possèdent une adaptation marginale de 49µm contre 71µm pour le joint des couronnes en céramique produites à partir d'empreintes classiques.

Elle était vendue environ 36000€. Elle a été remplacée par la TRUE Definition en 2014.

Figure 16 et Figure 17 : Caméra Lava COS et son kart

(3M)

2.5 3M ™ True definition Scanner

Cette caméra a été mise sur le marché en février 2014.
La caméra est montée sur un kart équipé d'un ordinateur et d'un écran tactile, la prise en main est assez facile et rapide.
Elle enregistre en vidéo 3D mais uniquement en noir et blanc. Elle possède une profondeur de champ de 0 à 20 mm et une précision de 19 µm. Mais un poudrage est nécessaire avant l'enregistrement.
Elle utilise exactement la même technologie que l'ancienne LAVA COS de 3M mais les ingénieurs l'ont miniaturisée. Les fichiers générés sont au format STL.
Son nettoyage est effectué par trempage de 20 minutes dans une solution désinfectante.
Elle est vendue 23000€ avec les mises à jours incluses et les futurs outils de conception et de communication avec le patient, seront fournis dans l'avenir.
L'avantage de cette caméra est son partenariat au sein de 3M qui lui permet d'envoyer les empreintes directement à la société Incognito™. L'envoi est aussi possible vers la société Invisalign™.

2.6 ITéro 1 et 2 (CADENT/STRAUMANN – CADENT/Align)(7)

Le système ITéro® a été lancé à la 148e session annuelle de l'American Dental Association (ADA), à SAN Francisco en septembre 2007.
Il utilise la technologie de l'imagerie confocale parallèle.
Il se compose d'un kart contenant l'unité centrale, d'un écran LCD, d'une pédale sans fil ainsi que d'un clavier et d'une souris sans fil et d'une caméra intra buccale filaire.
L'enregistrement par la caméra ITéro ne nécessite pas de poudrage grâce à sa technologie confocale parallèle qui peut numériser des préparations supra et sous gingivales.
La tête de la caméra est en contact avec les dents à scanner pendant la prise de vue qui se déclenche au pied. Une fois celle-ci validée par le logiciel, on déplace légèrement la caméra et l'on ré-appuie sur la pédale.

ITéro est capable de scanner une arcade complète, le logiciel est assez simple d'utilisation. Le praticien visualise en temps réel l'empreinte et peut rependre une vue si le logiciel lui indique un manque, elle sera ajoutée aux vues déjà enregistrées.

L'analyse de la hauteur occlusale disponible est réalisée en même temps et le praticien sait s'il doit effectuer des corrections à sa préparation.

Le fichier, une fois compressé, est envoyé à un centre de traitement des images en Israël. Là-bas, des informaticiens prothésistes l'optimisent. Le fichier étant au format STL, il peut ensuite être retourné à n'importe quel laboratoire équipé de CAO.

Le laboratoire fabriquera ensuite un modèle en polyuréthane, matériau résistant permettant au prothésiste de le monter sur un articulateur métallique puis de réaliser la chape en CAO ou avec les techniques conventionnelles puis de monter la céramique cosmétique.

Figure 18 et Figure 19 : Itéro 2

(Cadent)

2.7 Itéro Element

Sortie en 2015, la nouvelle caméra iTéro® Element est produite par la société Align Technology Inc. Elle se présente sous forme d'un kart de taille réduite équipé d'un écran de 19 pouces de haute définition. Elle est 40% plus petite et légère que la caméra précédente et intègre la technologie du gyroscope. Le nombre d'images enregistrées par seconde passe de 800 à 6000. Elle enregistre désormais en couleur sans nécessité de cliquer pour chaque cliché et peut théoriquement scanner 20 fois plus vite que son prédécesseur.

L'envoi des fichiers numériques est toujours en format standardisé STL.

Le logiciel Simulator Invisalign® est inclus dans l'unité et permet au patient de visualiser le résultat espéré au fauteuil ou sur un deuxième ordinateur au bureau du praticien par exemple.

Figure 20 et Figure 21 : Caméra Itero Element

(Align Technology)

2.8 TRIOS® (3Shape)

La TRIOS® 3 est une caméra d'empreinte numérique, elle est commercialisée depuis septembre 2013 par la société 3SHAPE® basée à Copenhague. Elle remplace la caméra TRIOS® Standard (sortie en décembre 2010).

Elle est disponible sous plusieurs formes :

- TRIOS CART : unité indépendante sur roulettes avec écran tactile
- TRIOS POD : caméra à brancher sur le port USB d'un ordinateur
- TRIOS Chair intégration : caméra installée directement au fauteuil avec les PIR. (porte instruments rotatifs)

Elle peut être tenue et manipulée comme un stylo ou par la poignée optionnelle. Sa prise en main est facile et rapide.

Cette nouvelle caméra enregistre en couleur RealColor™ dans un format standard STL qui permet d'envoyer le fichier à n'importe quel laboratoire équipé d'un logiciel de conception numérique.

L'enregistrement se fait SANS poudrage. L'occlusion est enregistrée par une vue vestibulaire en position d'intercuspidie maximale. L'envoi du fichier peut se faire dès la fin du scannage alors que le patient est encore sur le fauteuil.

Le prothésiste peut immédiatement commencer à traiter l'empreinte et modéliser la future prothèse.

L'enregistrement d'une préparation d'inlay-core est possible via le scannage de tenon calibré de type scan post-inséré dans le canal.

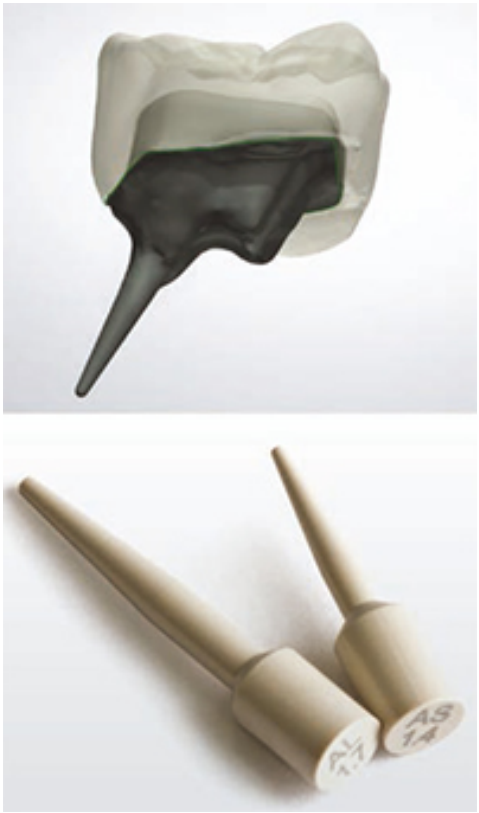


Figure 22 : Inlay core et couronne réalisés en une seule étape CFAO TRIOS et Tenons calibrés

(3Shape)

La caméra TRIOS possède des applications pour prothèse fixée (couronne, bridge, inlay-core, enregistrement de la couleur selon le nuancier 3D master VITA), prothèse amovible, implantologie (guide..) et l'orthodontie.
Le cabinet d'orthodontie peut être équipé du logiciel 3SHAPE Ortho Analyzer™ qui permet de montrer au patient en un seul rendez-vous le set-up des dents alignées après traitement (classique, Harmony ™..)
3shape est en train de passer des accords avec les sociétés 3M™ et Invisalign™ pour que ces derniers acceptent de travailler avec des empreintes faites avec le TRIOS, car un haut niveau d'exigence et de précision est demandé par ces sociétés.

Cette caméra est l'une des plus onéreuses. Elle coute 46000 euros et nécessite un abonnement annuel pour accéder à la plateforme d'échanges et profiter des mises à jour du logiciel pour environ 3000 euros par an.
Cette caméra nécessite que le laboratoire s'équipe d'un logiciel 3SHAPE pour environ 4000 euros pour pouvoir lire et travailler sur nos empreintes. Lui aussi doit payer un forfait annuel d'environ 1000 euros pour profiter des mises à jour.
L'embout est autoclavable et coute environs 40centimes par utilisation.

Figure 23 et Figure 24 : Trios Kart et Trios Pod

(3shape)

Figure 25 et Figure 26 : Trios Chairside, et présentation avec et sans manche (3shape)

Pour l'anecdote : les deux fondateurs ont d'abord développé leur technologie de scanner miniaturisé pour concevoir des prothèses auditives sur mesure avant d'adapter la technologie dans les années 2000 aux besoins de la prothèse dentaire.

2.9 Carestream CS3500

Cette caméra, anciennement Kodak, est sortie en 2014. Elle doit être branchée en USB sur l'ordinateur du cabinet et fonctionne parfaitement avec les logiciels de gestion tels que Julie, visiodent, trophy etc..

Pour l'hygiène son embout est autoclavable.
Elle prend des clichés en couleur à déclenchement automatique grâce à des LEDS et nécessite que la caméra soit immobile avec un point d'appui.
Elle possède une profondeur de champ de 13mm et pèse 295 grammes.
Elle possède une précision de 30µm d'après le constructeur (donnée invérifiable)
L'envoi en fichier STL est gratuit et illimité.
La caméra intègre un logiciel Restore® pour la conception de petites pièces prothétiques, et un logiciel d'orthodontie pour réaliser les mesures, pas de set up virtuel pour le moment.
La caméra est vendue 29000 €

Figure 27 et Figure 28 : Caméra Carestream CS3500

(Carestream)

2.10 Dental Wings

Nouveauté présentée à l'ADF 2015, cette petite caméra prévue pour le début 2016 est produite par la même société qui est très connue pour ses scanners de modèles en plâtre pour les laboratoires.

Elle est présentée sous la forme d'un kart avec écran tactile et commande vocale et gestuelle.

La caméra filme en noir et blanc après avoir appliqué un léger poudrage liquide en bouche. Elle utilise une technique de « multi-maging », les 5 leds de la caméra vont enregistrer 10 images/seconde avant de les mixer.

Le format d'enregistrement est le standard STL.

Pour le moment, la caméra ne contient pas de logiciel de conception, ni d'accord avec les sociétés d'orthodontie comme Incognito, Harmony ou Invisalign.

La caméra se nettoie en procédant à 9 minutes de trempage dans une solution désinfectante.

La caméra est vendue 23000 euros et ne nécessite pas d'abonnement annuel.

L'échange avec les 25% de laboratoires déjà équipés en logiciel dental Wing est facilité mais il est également possible avec les autres laboratoires. Ces échanges sont toujours gratuits, et le laboratoire est capable d'usiner un bridge sur une arcade complète.

Figure 29 et Figure 30 : Caméra DentalWings (DentalWings)

2.11 Condorscan de Biotech™

Deuxième nouveauté présentée à l'ADF 2015.
Conçue en partenariat avec le Pr François DURET. Elle est vendue avec un ordinateur car elle travaille sous Linux®.
Elle est proposée avec une unité centrale ou un ordinateur portable.
Elle scanne en couleur et sans poudrage sous format STL et PLY

Pour le moment, elle n'est pas fournie avec des outils de conception et peut uniquement enregistrer les arcades de manière assez facile et rapide.
Une fois l'autorisation donnée par le dentiste à un ou plusieurs laboratoires, ceux-ci ont accès directement à l'empreinte sur l'ordinateur du praticien et viennent la télécharger pour concevoir ensuite la prothèse au laboratoire.

Elle devrait être disponible au début de l'année 2016 pour 20000 euros.

Figure 31 et Figure 32 : Caméra Condorscan

(CondorScan)

2.12 Lythos de Kavo™

Troisième nouveauté de l'ADF 2015.

C'est la première caméra distribuée par Kavo™.

Cette caméra se présente sous forme d'une petite unité centrale avec un écran tactile.

Elle enregistre en filmant en noir et blanc et crée un fichier sous format STL que l'on peut envoyer gratuitement vers le laboratoire de son choix.

Son embout (2 euros) est à usage unique.

Elle devrait être disponible au début de l'année 2016 pour 25000 euros.

Figure 33 et Figure 34: Caméra Lythos

(dentalcompare.com) (optimum-tech.com)

2.13 IOS Aadva de GC™

Quatrième nouveauté de l'ADF 2015.

La première caméra du groupe GC™ se présente sous forme d'un petit kart à roulettes avec une unité centrale incluse et un écran tactile.

Elle filme en noir et blanc sans poudrage.

Pour enregistrer, elle utilise une technologie avec un projecteur LED et 2 caméras/récepteurs.

Le fichier généré est au format STL et est suffisamment précis pour usiner des bridges jusqu'à 4 éléments.

Elle devrait être disponible courant 2016 pour 20000 euros auxquels il faut ajouter 3000 euros annuel pour bénéficier du service d'envoi des empreintes, de sauvegarde sur un cloud sécurisé et des mises à jour.

Figure 35 et Figure 36 : Caméra Aadva

(wilddesign.de)

2.14 Planscan® de Planmeca™

Cette caméra filme en noir et blanc les arcades dentaires et les enregistre sans poudrage au format standard ouvert STL.

Elle est disponible sous forme portable qui doit être branché via un câble USB à l'ordinateur se trouvant dans la salle de soin.

Tout comme l'Omnicam de Sirona™, elle peut aussi se présenter de manière intégrée au fauteuil.

Elle est alors contrôlable via la pédale de l'unit et l'enregistrement est visible via l'écran HD fixé sur le fauteuil.

Cette dernière solution permet donc une présentation parfaitement intégrée mais n'a pas la mobilité d'une présentation sur Kart.

La caméra Planscan peut scanner une arcade complète.

Elle peut intégrer PlanCAD®Easy, un logiciel de CAO et peut être reliée à une usineuse au cabinet comme la Planmill 40®.

Figure 37 et 38 : PlanScan et Planmill 40

(www.planmeca.com)

3 Différents domaines d'application

3.1 Implantologie avec les caméras Sirona

On peut utiliser l'empreinte optique CEREC dans plusieurs situations en implantologie (12):

- Planification implantaire.
- Enregistrement de la position de l'implant puis usinage du pilier implantaire.
- Enregistrement du pilier et réalisation d'une couronne.

Depuis peu, la caméra E4D est également capable de fusionner les images de CBCT (Cone Beam Computer Tomography) en DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) avec les images obtenues par caméra optique.

3.1.1 Planification implantaire (13)

Sirona a commercialisé en octobre 2008, le système GALILEOS 3D X-ray. Il s'agit de jumeler l'empreinte optique à la Tomographie Cone Beam.

De plus, le logiciel GALILEOS 3D X-ray permet la préparation des piliers implantaires et la taille de la couronne (provisoire et définitive) directement au cabinet pendant la même séance.

On commence par réaliser une tomographie CBTC (Cone Beam Computer Tomography) pour étudier toutes les structures anatomiques en 3D pendant la planification implantaire.
Le fichier obtenu est au format DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) et peut être lu par des logiciels de planification implantaire.
Puis à l'aide de la caméra optique CEREC, le praticien enregistre les arcades dentaires. L'ordinateur crée un modèle virtuel avec lequel on peut élaborer couronne et bridge de manière habituelle.
L'ordinateur fusionne ensuite les 2 fichiers.
Le but est de pouvoir placer la prothèse transitoire dans un axe et une position idéale, puis une proposition implantaire est générée par le logiciel qui tient compte des contraintes prothétiques et anatomiques. Le praticien a tout un catalogue d'implants à sa disposition.
Car c'est bien la prothèse qui doit guider l'implantologie !!!

Un guide implantaire peut être réalisé par stéréolithographie via SIMPLANT™ par exemple, pour guider la mise en place des implants.
Des guides pour cas implantaires multiples peuvent être usinés au laboratoire de prothèse avec une usineuse MCX5, ou envoyés à la société SICAT.

Le guide pour cas unitaire peut aussi être usiné directement au cabinet si celui-ci est équipé de l'usineuse MCXL de Sirona™.
Ce guide peut permettre une chirurgie à minima sans lambeau « flapless » qui est indiqué dans certains cas où les chirurgies avec lambeaux sont proscrites.

Le guide, par toute la préparation qu'il nécessite en amont de l'intervention, a aussi un effet pédagogique important pour le patient. Celui ci peut être rassuré par le dentiste qui a le temps de tout lui expliquer. Cet aspect technologique apporte sans aucun doute un coté high-tech positif au cabinet.

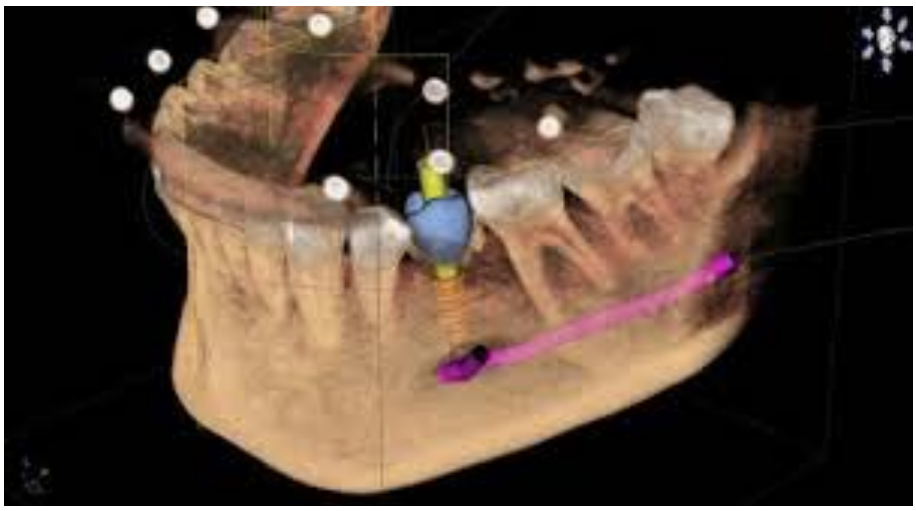


Figure 39 : Planification de la position de l'implant grâce au logiciel Sirona™ Galaxis

(Mr Cahen - Sirona)

Figure 40 : Planification du guide implantaire via l'interface du CeRec®

(Mr Cahen - Sirona)

Figure 41 : Guide implantaire unitaire usiné au cabinet (MCXL)

(Mr Cahen - Sirona)

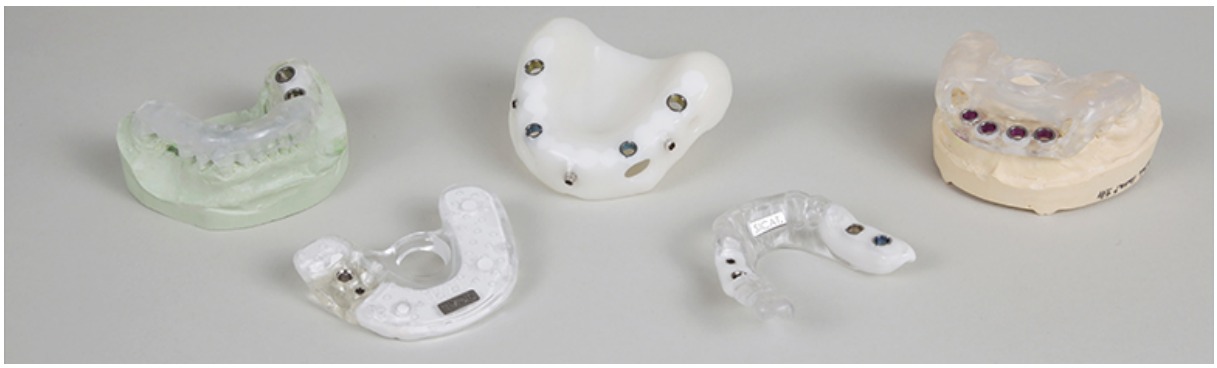


Figure 42 : Guides mutli-implants par la société SICAT®

(www.sicat.com)

3.1.2 Enregistrement de la position de l'implant

Le système Straumann CARES permet la réalisation rapide et simple d'un pilier personnalisé en enregistrant la position de l'implant via une technique CAO/FAO.
Ce système permet de visualiser la situation sous-gingivale et marginale de l'implant.
Le but est de saisir numériquement l'emplacement de l'implant directement en bouche à l'aide d'un corps de scannage que l'on va clipser sur l'implant qui sera reconnu puis scanné par la caméra optique.
Le pilier est usiné dans un centre de production Straumann et renvoyé au dentiste qui l'essayera en bouche.
Depuis 2010, Le logiciel Straumann est compatible avec les empreintes optique iTero.

Chez SIRONA™, le logiciel inLab 3D permet la conception de la structure en générant une proposition de pilier en tenant compte de la position de l'implant et de la situation des tissus mous.

3.1.3 Enregistrement du pilier et réalisation d'une couronne

Grâce à une caméra optique comme celle du CEREC, on peut réaliser en bouche l'enregistrement de piliers implantaires.
Une étude de KARL et coll. de 2008 a montré que les armatures étaient insérées de manière plus passive lorsque l'empreinte était réalisée avec une caméra optique plutôt qu'en technique conventionnelle de type pick-up. (14)

Pour enregistrer la position de l'implant, on place une pièce particulière avec une forme caractéristique qui sera reconnue par le logiciel. Ce capuchon pyramidal à pans asymétriques est nommé : Scanbody.
Il permet de définir de façon très précise la position du col implantaire.
Ce ScanBody peut être fixé sur un élément en titane appelé TiBase, qui est spécifique du modèle et de la marque de l'implant. Sur ce TiBase, on viendra fixer la structure usinée grâce à la CAO. Le Tibase sert en réalité de pilier à la couronne transvissée.
Le ScanBody peut aussi se fixer sur un Scanpost qui correspond au transfert d'implant. Il permet de faire ressortir le Scanbody, son enregistrement n'en est que plus facile et plus précis, sans gêne des tissus péri-implantaires.
L'enregistrement se poursuit par une numérisation de l'arcade antagoniste et la prise d'une vue en OIM.

La couronne est ensuite usinée dans un bloc perforé qui permettra de recevoir le Tibase et laissera un passage à la vis pour fixer la couronne sur l'implant (couronne transvissée) ou uniquement de visser le pilier, dans ce cas la couronne est collée sur le pilier usiné.

Le Cerec présente le grand avantage de pouvoir condenser toutes ces étapes en une seule séance. On peut usiner le pilier d'un implant unitaire au fauteuil puis fabriquer la couronne en un seul et unique rendez vous.

Figure 43 : Tibase avec son Scanbody (Sirona)

Figure 44 : Tibase avec pilier personnalisé et couronne

Figure 45 : Scanbody avec Scanpost et Tibase adapté

(dentalecompare.com)

Figure 46 : Gauche : ScanPost sans/avec Scanbody

Figure 47 : Droite : Tibase sans/avec Scanbody

(www.digitalenamel.com cas du docteur August de Oliveira)

3.2 Implantologie avec le LAVA cos (1)

En 2011 la société 3M ESPE passe un accord avec la société Biomet 3i pour proposer une solution implantaire. La caméra peut lire la vis de cicatrisation universelle Encode vissée sur l'implant.
Le Lava COS comme les caméras Sirona et iTéro permettent aussi d'accéder au système Straumann Cares pour enregistrer les vis de cicatrisation Straumann.

3.3 Orthodontie

3.3.1 Caméra ITéro®

L'empreinte optique s'est aussi développée pour les orthodontistes. Aux USA, la société Orametrix ® propose de réaliser un enregistrement des arcades à l'aide d'un scanner intra-buccal.
Cette société fournit ensuite le logiciel d'étude orthodontique : SURSMILE 7.0, pour traitement vestibulaire ou lingual qui réalise une simulation et permet la réalisation des brackets et des arcs sur mesure.
La société Cadent qui produit la caméra ITéro® a développé une application sur ordinateur pour les orthodontistes : OrthoCad.
Elle permet de faire réaliser des gouttières pour faciliter la pose des brackets ainsi que des modèles par impression 3D par n'importe quel laboratoire puisque son système CAO/FAO est ouvert.
La société AlignTechnology (SAN JOSE USA) qui produit Invisalign pour traitement orthodontique par gouttière a racheté en 2011 la société CADENT pour proposer une solution complète : de la prise d'empreinte numérique à l'étude orthodontique puis à la réalisation des appareils.
Invisalign est disponible dans 45 pays et le système CAO/FAO dans 20 pays pour le moment, fondé aux USA en 1997 et autorisé en France en 2001.

3.3.2 Caméra Trios de 3SHAPE(15) :

La société danoise fondée à Copenhague en 2000 propose une solution numérique dédiée aux orthodontistes depuis avril 2012 : l'Ortho system de 3Shape.
Cette solution complète utilise toujours la caméra TRIOS pour la numérisation des arcades dentaires, évitant au praticien de réaliser des empreintes classiques avec coulée des modèles en plâtre. La suite proposée par 3Shape offre toutes les étapes d'une chaine numérique logique et aboutie.
Ortho System gère l'archivage, l'analyse des malpositions dentaires et les propositions de traitement. Mais il gère aussi la communication avec le patient en lui proposant une simulation des mouvements dentaires (Set up), et la conception par ordinateur des différents appareillages. C'est un formidable outil de communication puisqu'en une seule séance, le praticien peut exposer au patient la finalité du traitement grâce au logiciel intégré : Ortho Analyzer.
La communication avec le laboratoire est aussi facilitée et interactive puisque le format de l'empreinte numérique est un format standard universel STL.
De plus, les données de l'empreinte numérique peuvent être couplées avec des données Cone Beam Dicom pour plus de précision dans les mesures.

Les réfractaires à l'empreinte numérique, qui souhaitent profiter des avancées qu'offre Ortho system, peuvent toujours envoyer leur empreintes classiques à un laboratoire équipé d'un scanner type : 3D R700. Celui-ci pourra scanner l'empreinte ou le modèle en plâtre puis réaliser les appareils avec l'aide de l'ordinateur et du logiciel Ortho Analyser.

Figure 48 : Chaine Numérique du TRIOS (3Shape)

3.3.3 3M TRUE définition Scanner (16,17)

Figure 49 et 50 : Caméra True definition

(3M)

Cette caméra associée à un puissant ordinateur filme l'arcade dentaire préalablement légèrement poudrée.

Elle est montée sur un Kart.

Elle envoie le fichier de l'empreinte en format standard STL au service 3M INCOGNITO par exemple ou d'autres fabricants de brackets linguales.

Pour ce faire, le kart transmet l'empreinte via le logiciel Treatment Management Portal® de 3M qui permet de visualiser, stocker et créer des sets-up des modèles de tous nos patients.

Le système INCOGNITO est un procédé de fabrication personnalisé des brackets linguales en or. Le Dr Dirk WIECHMANN décrit en 2002 cette nouvelle technique de conception personnalisée mais l'orthodontie linguale est créée en 1973 par le Dr Craven KURZ. Apres deux années de tests et d'expérimentations, c'est en 2004 que le système INCOGNITO est présenté au congrès de la Société d'Orthodontie Linguale Européenne à Barcelone.

L'avantage majeur de ce système est de permettre au praticien de choisir exactement sur quelle partie de la face linguale il veut coller son bracket. L'individualisation et la personnalisation sont très poussées ! Cette évolution a été permise par l'apport du numérique, en effet la conception des brackets se fait sur ordinateur grâce à un logiciel et la fabrication des brackets en or est assistée par ordinateur.

Il ne manquait plus que l'apport de la caméra optique pour compléter cette chaine et passer au « tout numérique ».

Figure 51 : Système lingual Incognito

(3M)

3.3.4 Omnicam

Sirona propose un logiciel pour environ 3000€ qui permet d'enregistrer les arcades dentaires avec le palais et d'envoyer le fichier informatique à des fabricants d'appareils orthodontiques comme par exemple Invisalign® mais aussi CA digital®, 3M Incognito® et Stratasys®

Ce logiciel serait adaptable sur la Bluecam mais comme il est nécessaire de poudrer le palais, cela paraît difficilement réalisable.

Il ne sera pas adaptable sur la dernière caméra Apollo DI.

Le praticien recevra en retour de la société produisant les appareils, le set-up virtuel pour faire une démonstration au patient et une validation de la faisabilité du traitement.

3.4 Prothèse Fixée

3.4.1 Inlay / onlay

Si les caméras optiques et leurs systèmes d'usinage associés sont bien connus des dentistes, c'est pour au moins une application largement éprouvée qui progresse encore à chaque amélioration des caméras, des logiciels et des usineuses ; ce sont les restaurations prothétiques de type inlay/onlay. Elles sont en pleine expansion avec l'essor des nouvelles techniques de collage et l'amélioration des blocs usinables en céramique ou résine composite.

Les inlays sont de plus en plus demandés par les patients qui réclament de nos jours des restaurations esthétiques et durables.

Les dentistes s'y intéressent car ils répondent à la règle de « préservation tissulaire » avec une préparation moins délabrante et qui peut être réalisée sur dent vivante.

Les dernières caméras permettent de réaliser des inlays de manière très satisfaisante en une ou plusieurs séances, selon que le cabinet est équipé ou non d'une usineuse.

3.4.2 Overlay/ Vprep

Les caméras optiques peuvent enregistrer l'anatomie originale de la dent avant de la reconstituer, ou utiliser le mode « miroir » des logiciels pour enregistrer la dent de l'arcade opposée. Cette fonction est utile dans le cas du remplacement d'une ancienne restauration foulée par une restauration usinée.

Dans le cas d'une molaire à reconstituer avec une ou plusieurs cuspides fracturées, on peut enregistrer la forme initiale de la dent avant le retrait de la partie mobile, et par la suite réaliser une Vprep avec la même forme que la dent originale.

La Vprep permet de recréer toute la face occlusale de la dent en préservant sa vitalité.

Elle a été proposée en 1999 par Bindl et Mörmann, elle est réalisable en une séance grâce au système Chairside. Les limites de la préparation ne doivent pas être situées au niveau des zones occlusales de contact.

3.4.3 Endocouronne (18)(19,20)

Grâce à la profondeur de champ élevée des nouvelles caméras optiques, le classique ensemble Inlay-core/couronne est remis en question.

En effet, dans le cas d'une dent très délabrée et dévitalisée, l'enregistrement de la chambre pulpaire est possible en l'absence de contre-dépouille et l'ordinateur modélisera une couronne avec un appui dans toute la chambre pulpaire. Il ne restera qu'à usiner la couronne puis à la coller.

L'étude de Bindl et Mormann à Zurich en 1999 a montré la qualité et la fiabilité de ce genre de restauration intra et supra-coronaire notamment sur les molaires.

D'autres études portant sur la réalisation d'endocouronne en secteur antérieur vont dans le même sens. (21,22)

L'endocouronne permet de se passer de la réalisation d'un ancrage radiculaire type tenon ou vis qui peuvent entrainer des fractures radiculaires, tout en respectant les recommandations actuelles de biomécanique et bio-intégration.

Elle possède de nombreux avantages :

- peu délabrant.
- protection du parodonte (limite supra-gingivale).
- solide et stable dans le temps.
- optimisation de la surface de contact dent/couronne pour améliorer le collage
- préservation de toute l'obturation canalaire

Les conditions de préparation de la dent sont simples :

- les parois de la chambre pulpaire doivent être divergentes.
- les congés doivent être supra-gingivaux.
- la préparation occlusale doit être parallèle au plan d'occlusion

3.4.4 Couleur

De nombreux systèmes permettent de relever la couleur de manière numérique.

Ces appareils : le ShadeEye-NCC® (SHofu Dental, Allemange), ShadeScan™ (Cynovad, Canada), Identacolor II (Identa®, DK) Ikam DCM®, UK) ainsi que VITA Easyshade®

(Vident, USA), utilisent tous la spectrophotométrie et analysent la couleur de la dent suivant différents paramètres : teinte, luminosité et saturation.
On peut espérer que la caméra du futur puisse enregistrer la couleur et la forme et que la machine-outil les reproduise. Malheureusement les représentants VITA nous ont confié à l'ADF 2015 qu'aucune association avec une caméra de prise d'empreinte (Sirona, 3shape..) n'était au programme …

D'après le professeur François DURET, « *dans le futur, le rendu esthétique sera issu de l'association de la spectrocolorimétrie et de l'activation photométrique des matériaux.*
Les matériaux seront mimétiques comme le sont aujourd'hui la plupart des composites mais ils renfermeront aussi une pigmentation interne capable d'être activée par un outil dédié, présent dans la machine-outil (laser, flux calorique..).
Cette activation se fera pendant la construction de la prothèse ou après celle-ci. C'est seulement au point de focalisation du rayonnement que l'énergie sera suffisante et/ou spécifique pour permettre l'activation.
Il sera donc possible de « colorer » le matériau dans la masse. Cette activation sera irréversible et elle sera contrôlée par le système informatique afin qu'elle respecte, en position et en colorimétrie, la lecture du spectrocolorimètre. Cette analyse pourra se faire en fonction d'une prise de teinte faite à la surface de la dent initiale, voisine ou symétrique »

Figure 52 : VITA easyshade®

(vita-zahnfabrik.com)

3.5 Prothèse amovible (23–26)

La prothèse amovible est souvent vue comme une solution de « secours », ou de deuxième intention car de conception simple et basique, pour les praticiens. Elle est donc petit-à-petit délaissée par une partie de la profession et ne jouit pas d'une très grande aura.

Mais, pour des raisons fonctionnelles ou en raison du coût trop élevé des solutions prothétiques implanto-portées, elle reste souvent une très bonne solution fiable et durable. Elle n'en est pas pour autant « simple et basique » et requiert méthodologie et précision dans sa conception et sa réalisation.

Malheureusement, les industriels et ingénieurs qui développent le numérique dans le domaine dentaire réalisent de belles avancées en terme de prothèse fixée (couronne, bridge, onlay facette, implant etc..) mais beaucoup moins dans le domaine de la prothèse amovible.

Pour le moment, une empreinte classique suivie de la coulée des modèles est encore indispensable dans la plupart des cas.

La chaine numérique ne commence qu'au scannage des modèles en plâtre (souvent au format STL) mais grâce à l'avancée de nombreux logiciels de réalisation de prothèse amovible (Sensable®, Dental Wings®..), la conception et la fabrication peuvent se passer complètement des étapes de laboratoire telle que le maquettage à l'aide de cires préformées. Le grattage et le polissage du châssis sont quant à eux réduits.

Les châssis peuvent être réalisés par :

- Méthode additive : impression 3D, stéreolithographie et frittage sélectif de poudre Co-Cr par laser.
- Méthode soustractive : usinage de matériaux calcinables, usinage de titane.

Seul le frittage sélectif et l'usinage du titane permettent de se passer de coulée traditionnelle.

Cependant, elle nécessite un temps de formation et de maitrise des outils informatiques.

Depuis 2015 Sirona™ et 3 shape™ sont capables de scanner directement l'empreinte, la phase de coulée est évitée mais des modèles physiques sont toujours nécessaires. Les modèles peuvent être réalisés par impression 3D. Les châssis sont ensuite conçus numériquement avant d'être envoyés vers une usineuse, ces marques ont chacune leur

logiciel de conception de châssis. L'usineuse Sirona de laboratoire MCX5 est maintenant capable d'usiner des châssis.

On peut envisager que la réalisation de prothèses amovibles soit bientôt possible à partir d'une empreinte réalisée au fauteuil, notamment grâce à des prothésistes tels que David NEGRELL qui s'investissent dans le numérique pour créer des logiciels et des outils de conception.

C'est de cette manière que David NEGREL créa en 2007 le système DIGISTELL® de DIGILEA.

Il permet la confection de châssis de « stellite » assistée par ordinateur grâce à un bras articulé à retour de force à partir du scannage de modèle traditionnel.

On peut noter que le système DIGISTELL® utilise des données au format STL, ce qui permet d'envisager la confection de prothèse amovible par CFAO avec une chaine tout numérique, grâce aux nombreuses caméras disponibles sur le marché qui enregistrent en STL et qui seront un jour compatibles.

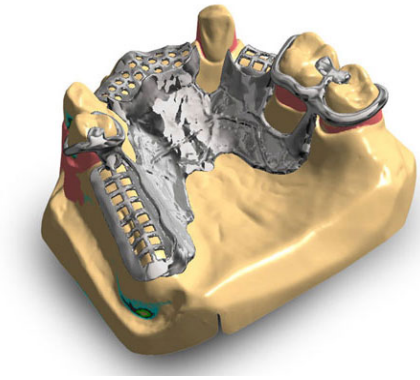
Grâce à son bras à retour d'effort, le système conçoit le stellite en réalité augmentée, notion qui désigne les systèmes qui permettent la superposition d'un modèle 3D/2D à la perception que le praticien a de la réalité.

Le bras à retour de force connecté à l'ordinateur permet de ressentir le modèle virtuel comme si l'on dessinait sur un modèle réel.

Figure 53 : Bras à retour de force

(www.forum-cao-3d.fr)

Pour rendre possible la conception du châssis métallique tout numérique, il faut encore concevoir une caméra capable d'enregistrer toute la bouche avec une grande précision pour obtenir un très bon ajustement de la prothèse qui est dento-muquo portée.



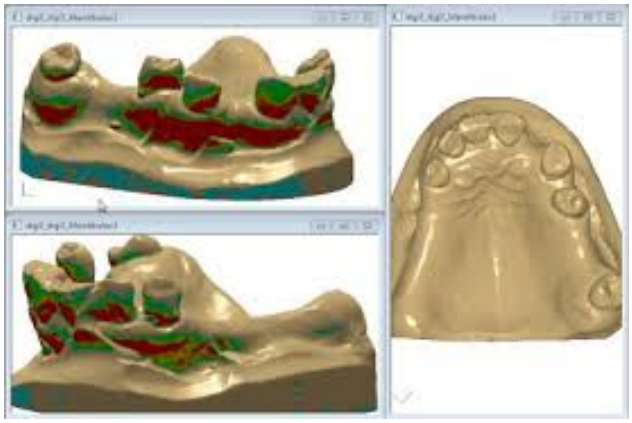


Figure 54 : Conception des PAPIM

Figure 55 : Visualisation des contre-dépouilles

Figure 56 : Disque après usinage, Système Digistell

(digilea.com)

4 Avantages des systèmes d'empreinte optique

4.1 Précision de l'enregistrement (27)(28)(29)(30)

La précision de l'enregistrement en empreinte numérique est multifactorielle.
En effet, elle est liée à la dextérité de l'opérateur et à son habitude d'utilisation de la caméra.
D'autres facteurs sont eux aussi à prendre en compte tels que l'humidité, l'épaisseur de poudre, l'immobilité du patient et la surface plus ou moins étendue à enregistrer.
Plusieurs études démontrent que l'enregistrement par empreinte optique est aussi précis que l'enregistrement par empreinte physico-chimique classique.
Elles montrent que la caméra LAVA COS est très légèrement plus précise que la caméra BLUECAM. Toutes deux ont reçu des mises à jour qui doivent les rendre encore plus précises.
L'étude de Brawek, Wolfart et coll. montre que les systèmes LAVA COS et CEREC AC sont très proches en terme de précision et que les deux systèmes sont plus précis que l'empreinte classique. Le joint dento-prothétique obtenu est de l'ordre de 80µm. L'adaptation de la prothèse en est significativement améliorée.

L'étude de Ender et Mehl de 2011 montre que le LAVA COS et le CEREC BLUECAM obtiennent une précision similaire à l'Impregum de 3M.

4.2 Enregistrement des limites périphériques : (31)

Pour être correctement enregistrées, les limites de préparation doivent être correctement visibles. La caméra n'enregistre correctement que ce que l'œil nu peut voir. Une déflection gingivale de qualité est nécessaire d'après CHRISTENSEN et doit être de meilleure qualité avant la réalisation d'une empreinte optique.
Cependant l'utilisation de fil de rétraction peut entrainer des flous pendant l'enregistrement numérique. Il est préférable de les retirer avant l'empreinte.
Les pâtes de rétraction gingivale à propriétés astringentes telles que l'EXPASYL™ (Pierre Roland) conservent toutes leurs indications avant la réalisation d'une empreinte optique.

Le développement des couronnes tout céramique et de leur technique de collage incite le praticien à conserver le plus possible une limite supra-gingivale ou juxta-gingivale notamment en postérieur.
Le principal avantage de cette limite est de pouvoir contrôler l'ajustement de la prothèse sur le long terme.

4.3 Validation automatique de l'empreinte :

Pour réaliser une belle prothèse, il faut une belle taille, une empreinte satisfaisante enregistrant correctement les limites de la préparation et un prothésiste consciencieux.
Si la prothèse est mal adaptée, dentiste et prothésiste peuvent se rejeter mutuellement la faute.
Il n'y a plus ce problème avec l'empreinte numérique. En effet elle est validée en direct par l'ordinateur qui décide si oui ou non les limites sont suffisamment bien visibles et donc correctement enregistrables.
Le prothésiste travaille donc toujours sur une empreinte validée par l'ordinateur.
Les relations interprofessionnelles dentiste/prothésiste n'en sont qu'améliorées, et les deux parties peuvent passer plus de temps à échanger sur les solutions prothétiques idéales et comment les mettre en œuvre. (forme, couleur…) Alors même que le patient est encore sur le fauteuil, ceci permet de réaliser des ajustements dans la même séance et de reprendre l'empreinte rapidement et simplement avant de libérer le patient.

4.4 Gain de temps

Avec un peu d'entrainement, la numérisation d'une arcade complète peut être réalisée en 1 à 3 minutes.
La numérisation de la préparation permet de se dispenser de plusieurs étapes chronophages :

- Choix du porte-empreinte
- Temps de prise des matériaux
- Désinfection

- Emballage étiquetage pour transport
- Stockage des modèles

De même pour le prothésiste qui n'a plus à réaliser :

- La coulée et la fabrication d'un PEI
- Le fractionnement et le déroutage
- La réalisation des MPU
- Le montage en articulateur
- La mise en place d'un vernis d'espacement

Cependant l'empreinte numérique nécessite tout de même un traitement informatique tel que la CAO ou le détourage virtuel ainsi que la mise en articulateur.

L'empreinte numérique permet même dans certains pays comme les USA de libérer complètement le praticien puisque l'assistante est autorisée à réaliser l'empreinte numérique.

Une étude des docteurs PATZELT, LAMPRINOS, STAMPF et ATT publiée en juin 2014 dans le Journal of the American Dental Association (JADA) (32) compare le temps nécessaire pour réaliser une empreinte par méthode classique ou avec différentes caméras optiques.

Matériel :

- Cerec BLUECAM avec et sans pédale
- iTéro avec et sans pédale
- Lava COS
- Impregum (polyvinylsiloxane)
- Identium (vinylsiloxanether)
- Alginate
- Modèle en plâtre

Protocole :

Les auteurs cherchent à définir la durée totale d'une prise d'empreinte.

Ils chronomètrent pour l'empreinte numérique :

- Démarrage de l'ordinateur
- Configuration (étalonnage si besoin)
- Poudrage (si besoin)
- Numérisation de la préparation, de l'antagoniste et de l'occlusion
- Traitement des données informatiques

Et pour l'empreinte classique :

- Application d'adhésif sur le porte-empreinte et séchage
- Empreinte de la préparation (temps de mélange + temps de prise)
- Empreinte de l'antagoniste (temps de mélange + temps de prise)
- Enregistrement de l'occlusion
- Désinfection des empreintes

Ils enregistrent 5 fois, trois modèles différents (préparation unique, préparation pour bridge, arcade complète) avec les caméras et par empreintes classiques.

Malheureusement la caméra BLUECAM était incapable de traiter les données de toute une arcade au moment de l'étude. Une mise à jour du logiciel en 2015 doit normalement permettre le scannage complet mais celui-ci est difficile à réaliser puisque il faut réussir à poudrer toute l'arcade et à la maintenir au sec.

Tableau 1 : Résultats de l'étude de PATZELT, LAMPRINOS, STAMPF de 2014

	Enregistrement 1 dent	Enregistrement 3 dents	Enregistrement arcade complète
Itero	5m41s	6m06s	20m17s
Itero avec pédale	5m57s	6m15s	20m55s
Bluecam	4m16s	5m05s	N/A
Bluecam avec pédale	4m30s	5m02s	N/A
Lava COS	5m51s	6m57s	17m20s
Impregum	23m25s		26m25s
Impregum Quick step	18m45s		21m45s
Identium	27m25s		30m25s
Identium Fast	22m45s		25m45s

Les auteurs ont conclu que l'empreinte numérique était significativement plus rapide, Jusqu'à 23min pour l'enregistrement d'une préparation simple, 22 min pour un bridge et jusqu'à 13min pour enregistrer une arcade complète.

Ils ont soustraient à la durée totale de la procédure la plus lente (classique) ; la durée totale de la procédure la plus rapide (numérique).

Ils ont conclu que la caméra BLUECAM était plus rapide pour l'enregistrement de petite étendue mais la caméra LAVA COS est la plus rapide pour un enregistrement d'une arcade en entier.

Comme souvent, ils précisent que des études cliniques doivent être réalisées pour confirmer les résultats obtenus.

4.5 Empreinte optique inaltérable

L'empreinte ne subit plus les aléas causés par le transport et les différentes étapes de laboratoire avant la conception de la prothèse tels que : les étapes de coulée, de refroidissement, les mauvaises fusions, les manques, les surchauffes.
Le stockage en format informatique permet des échanges faciles et rapides par e-mail. Dans ce fichier, chaque retouche réalisée par le ou les prothésistes lors de la modélisation de la prothèse est enregistrée.

4.6 Transmission au prothésiste

L'empreinte numérique possède le gros avantage de ne pas nécessiter de transport physique entre le cabinet dentaire et le laboratoire de prothèse pour transmettre les empreintes, tout est immédiat, rapide et instantané.
Ce dernier n'aura pas de modèle en plâtre à couler ni à mettre en place des dies sur son modèle.

4.7 Confort du patient et intérêt dans la communication

L'utilisation de nouvelles technologies au sein des cabinets dentaires valorise le travail du chirurgien-dentiste. La présence de ces outils informatiques est la marque d'un cabinet moderne.
L'empreinte numérique fait définitivement entrer le métier de dentiste dans l'ère des soins dentaires confortables en évitant une étape désagréable avec les traditionnels silicones et autres matériaux d'empreintes qui ont souvent un goût insipide et une odeur désagréable.
Elle évite également l'utilisation de porte-empreinte déclenchant des réflexes nauséeux chez certains patients.
L'immobilité du patient pendant la prise d'empreinte n'est plus nécessaire.

Une étude de 2008 réalisée à Toulouse a évalué la satisfaction de patients ayant subi une restauration par technique CHAIRSIDE (CEREC) et technique conventionnelle. (33)
78% des patients ont trouvé l'empreinte optique confortable quand 44% ont trouvé la technique traditionnelle inconfortable.
Seulement 55% ont trouvé un avantage majeur à la « séance unique ».
Pour 9%, la « séance unique » est une trop longue séance.

Mais s'ils avaient à refaire une restauration, 91% des patients choisiraient un système avec empreinte numérique.

Pour les patients, cet apport de technologie est perçu comme une avancée qualitative importante.
Grâce à la visualisation tridimensionnelle de la future prothèse au fauteuil, le patient suit sur un écran les différentes étapes du traitement qu'il subit.
Cela impose au praticien une certaine exigence de qualité de travail et un sens de la communication pour expliquer au patient ce qu'il est en train de réaliser.

4.8 Ouverture des formats de prise d'empreinte

Le format standard des fichiers numériques STL (Standard Transformation Language) est progressivement adapté par une majorité des caméras sur le marché.
Ce format permet l'échange standardisé entre une caméra optique d'une marque et une machine de CFAO d'une autre marque.
Il est déjà adopté par de nombreux constructeurs :
-De caméras :

- Itero
- TRIOS
- IOS fast scan

-De systèmes CAO/FAO pour laboratoire :

- Dental Designer 3Shape®
- OrthoAnalyser 3Shape®
- Design System Sensable

- Digistell ®
- Dental-Wings

D'autres fabricants de caméras ont décidé de ne s'ouvrir que partiellement en contrôlant l'envoi des fichiers d'empreinte numérique aux centres de CAO, par exemple le système LAVA® COS.
L'utilisateur d'une caméra LAVA ne peut envoyer son fichier que vers un centre agréé pas 3M®ESPE s'il veut usiner une armature en zircone. Il n'y a pas de centre imposé s'il s'agît d'usiner d'autres matières.

La caméra Cerec contrôle également, d'une certaine façon, la chaine de CFAO, puisque les fichiers produits par une caméra SIRONA ne sont pas en format STL, sauf depuis la mise à jour de l'IDS 2015.
Cependant il suffit à n'importe quel laboratoire qui voudrait lire un fichier numérique d'empreinte optique nommé CEREC data-fodler(34), d'acheter le logiciel Sirona Connect® (environ 1000euros) une seule fois (mises à jours incluses) qui lui permettra de lancer un usinage sur n'importe quelle machine-outil lisant le format STL.

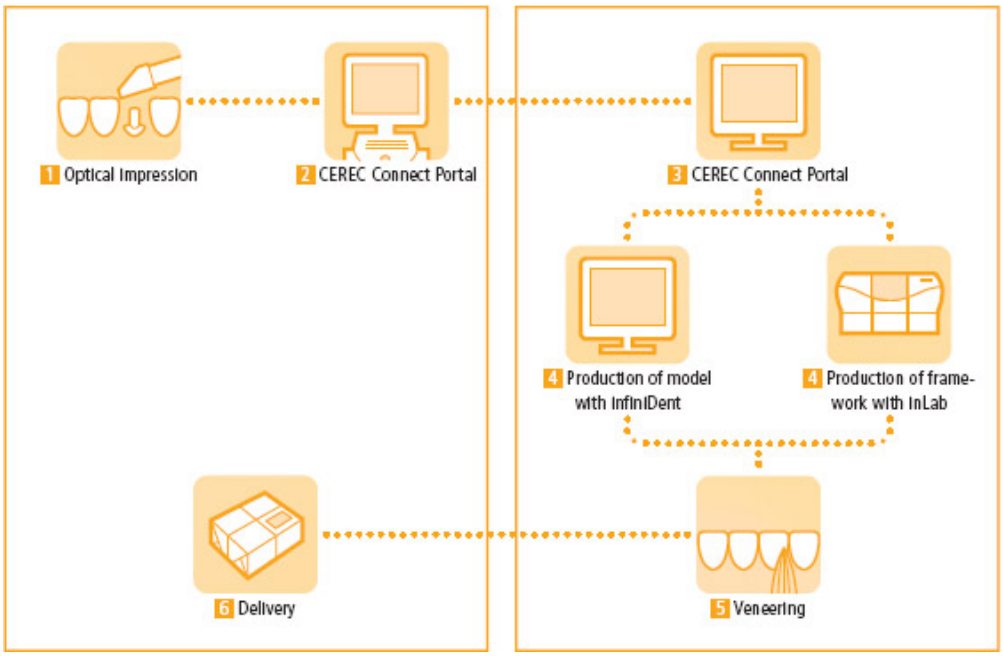


Figure 57 : Chaine CEREC CFAO Semi direct

(www.sirona.fr)

4.9 Adaptation marginale

Les prothèses fixées produites après une empreinte optique ont-elles une adaptation marginale acceptable ?
Pour cela il faut une caméra suffisamment précise ainsi qu'une machine-outil tout aussi précise.
Différentes études ont examiné le niveau d'adaptation des limites marginales pour des couronnes fabriquées avec les différents CEREC.

L'étude de NAKAMURA et coll. de 2003 montre la bonne adaptation marginale des couronnes réalisées avec le CEREC3. Les couronnes présentent une joint d'environ 53 à 67µm. (35)

L'étude de DENISSEN et coll. de 2000 compare l'épaisseur du joint des onlays réalisés avec le CEREC 3 avec des onlays réalisés de façon classique en laboratoire.
La différence observée n'est pas significative mais légèrement en faveur des onlays réalisés par méthode CEREC, 85 contre 100µm en moyenne. (36)

Une autre étude de ATT et coll. de 2009 montre la précision d'adaptation des restaurations prothétiques (bridge 2 et 3 éléments) réalisées avec une armature en ZIRCONE avec un joint cliniquement acceptable puisque inférieur à 100µm. (37)
L'étude du Pr SORENSEN (Portland) a examiné l'adaptation marginale des couronnes LAVA® obtenue après empreintes conventionnelles ou avec la caméra optique LAVA COS®.
Lui et son équipe ont conclu que les couronnes issues de l'empreinte optique possédaient une meilleure adaptation marginale, mais le faible échantillon ne permet pas de démontrer que cette meilleure adaptation est significative. (38)

Enfin une étude in vitro de Renne, McGill, Forshee, DeFee et Mennito publiée en novembre 2012 (39) compare la précision d'adaptation des couronnes fabriquées par le système CHAIRSIDE E4D américain, en utilisant un système de réplique pour mesurer l'adaptation interne et marginale des couronnes.
Elle conclue que la qualité de préparation influe significativement sur l'adaptation marginale.

L'écart marginal moyen des couronnes fabriquées sur une préparation idéale était de 38,5 µm, celui d'une préparation moyenne est de 58,3 µm, tandis que le joint des préparations est dit médiocre s'il est de 90,1 µm.

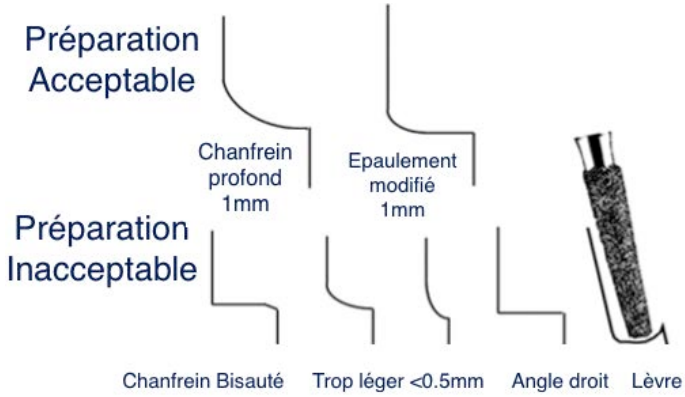


Figure 58 : Ligne de finition acceptable et inacceptable pour les auteurs (39)

L'empreinte optique avec la chaine de CFAO permet actuellement d'obtenir des joints marginaux très acceptables puisque plus fins qu'en technique classique, que ce soit pour des restaurations type inlay/onlay ou pour des plus grandes restaurations comme des bridges.

4.10 Longévité

Plusieurs études ont été conduites pour évaluer la longévité des inlays réalisés en méthode CAO/FAO avec une empreinte optique, puis en CFAO, comparée aux méthodes conventionnelles avec des restaurations par inlay céramique, inlay or ou autres..

Dans l'étude de MOLIN et KARLSSON, 32 patients ont tous reçu trois restaurations différentes :

- un inlay en céramique,
- un inlay usiné par le CEREC®
- et un inlay réalisé en Empress®. (40)

On examine les taux de survie des inlays à 5 ans :

- Inlay CEREC : 94%
- Inlay Empress : 88%
- Inlay en Or : 100%

Dans l'étude de THORDRUP et coll., la pérennité d'obturations esthétiques postérieures est évaluée. (41)

Un seul praticien a posé 58 restaurations sur 37 patients :

- 15 inlays en céramique Cerec 2
- 14 inlays en céramique traditionnels
- 15 inlays composites
- 15 composites foulés

On examine le taux de survie des restaurations à 10 ans.

Dans la première colonne, la réparation de la restauration ne compte pas comme un échec.

Dans la deuxième colonne, seules les restaurations SANS réparation sont considérées comme réussies :

Tableau 2 : Résultats de l'étude de THORDRUP de 2006

	Taux de survie à 10 ans des restaurations prenant en compte les réparations (%)	Taux de survie à 10 ans des restaurations SANS prise en compte des réparations (%)
Inlay CFAO	80	80
Inlay céramique	77.4	61.9
Inlay composite	80	50.8
Composite foulé	82.1	66.7

On peut observer que les inlays CFAO n'ont pas besoin d'être réparés pour survire 10 ans, ils sont les plus durables à 10 ans et ne nécessitent pas de traitement supplémentaire.

Dans l'étude de OTTO et coll. de 2008, les chercheurs ont voulu étudier la pérennité des inlays/onlays réalisés en méthode CAO/FAO sur une période de 17 ans.
Les chercheurs ont rapporté un taux de succès de 89.7%. (165)

Dans cette étude on observe des restaurations assez anciennes qui ont été réalisées avec des méthodes classiques largement mises à jour et perfectionnées depuis, comme le montre l'étude de BINDL et MORMANN qui met en avant une amélioration significative entre le CEREC 1 et 2. (42)

Toutes ces études concluent que les restaurations réalisées à l'aide d'un système CAO/FAO sont au moins voire plus durables que les restaurations traditionnelles. Sachant que, depuis ces études, de nombreux nouveaux matériaux sont apparus pour compléter la gamme des restaurations CAO/FAO et étendre les indications.
Le gain en précision des nouvelles machines-outils sur 5 ou 6 axes augmentent aussi la qualité, l'adaptabilité et donc la longévité des restaurations issues d'une empreinte optique et de CFAO.

4.11 Manipulation / Apprentissage (43)

Quel que soit le modèle de caméra utilisé, les débuts sont fastidieux et nécessitent un temps d'apprentissage d'une centaine de prises de vue.

L'étude de Lee, Gallucci et coll. de 2013 à Boston met en avant la facilité à réaliser une empreinte numérique d'un pilier implantaire par rapport à une empreinte classique , 70% des étudiants ont préféré manipuler l'empreinte numérique, la trouvant plus rapide, plus précise et plus facile à reprendre si nécessaire.

5 Inconvénients :

5.1 Coût actuel :

C'est bien le premier sujet d'interrogation des praticiens qui se questionnent au sujet de l'empreinte optique au cabinet. Son coût d'achat et les frais d'utilisation.
Le tableau ci-dessous récapitule les différentes informations d'achat et d'utilisation difficilement obtenues auprès des constructeurs, souvent parce qu'ils ne sont pas eux même vendeurs mais passent par des distributeurs et revendeurs.

Tableau 3 : Tarifs des caméras

Nom	Prix d'achat	Frais annuels	Observations	Coût pour le prothésiste
OMNICAM	45000 €	0	Adhésion au club Sirona	Logiciel à 2000€
APPOLO DI	20000 €	0		
TRIOS	46000 €	4000€		1000€/an
TRUE DEF	23000 €	0		0
CARESTREAM	29000 €			0
DENTAL WING	23000 €			0
CONDORSCAN	20000 €			0
LYTHOS	25000 €			0
IOS AADVA GC	20000 €			0

On peut observer que le prix des caméras sur le marché va du simple au double.
Les deux leaders du marché que sont SIRONA™ et 3SHAPE™ proposent les appareils les plus performants et les plus anciens qui ont donc déjà subi beaucoup d'améliorations contrairement aux nouveaux comme DENTAL Wing et LYTHOS qui sont certes 2 fois moins chers mais qui proposent leurs premières caméras.

Il est important de noter qu'il faut bien se faire préciser par le distributeur tous les frais annexes annuels engendrés par l'empreinte optique.

Il m'a été difficile d'obtenir des prix. Certains distributeurs proposent des locations, des locations avec option d'achat qui peuvent prendre en charge les frais annuels d'utilisation au cabinet et parfois les frais du laboratoire de prothèse partenaire, mais tout cela sous conditions…

5.2 Courbe du temps d'apprentissage :

La peur du changement et de la nouveauté fait aussi partie des craintes des chirurgiens-dentistes.
Comme avec les empreintes traditionnelles, une période d'apprentissage est requise.
Cette période est à relativiser car pour avoir essayé de nombreuses caméras, nous pouvons dire qu'elles sont pour la grande majorité faciles à utiliser et équipées de logiciels assez intuitifs.
Les constructeurs parlent d'une phase d'apprentissage qui ne dure que quelques dizaines de scannages intra-oraux, pour arriver à scanner une arcade complète en 2-3 minutes.
Pendant l'enregistrement numérique, la majorité des caméras fournissent une aide précieuse en vous indiquant la zone à enregistrer et la distance appropriée de la caméra. Il suffit de se laisser guider par les indications à l'écran.
Pour les caméras équipées de logiciel de conception et associées à une usineuse, en plus de la phase d'apprentissage d'enregistrement de l'arcade, s'ajoute une période de découverte des outils informatiques de conception.
Si le cabinet choisit de s'équiper d'un ensemble complet caméra/usineuse, dans ce cas, l'apprentissage est rallongé puisqu' il y aura aussi toute une partie maquillage de la prothèse fixée à apprendre.

5.3 Taille des caméras :

Les caméras étaient jusqu'ici presque exclusivement disposées sur des karts avec une unité centrale intégrée. Inévitablement, dans les cabinets où souvent tous les tiroirs sont à portée de main et où l'espace est précieux, l'arrivée d'un kart plus ou moins imposant peut demander quelques aménagements d'espace.

Heureusement, depuis 2015, une bonne partie des caméras sont désormais disponibles en version plus « portable ».

C'est le cas de l'Omnicam, de la TRIOS qui existent désormais en version POD USB ou adaptables sur les cordons des fauteuils, mais toujours facilement déconnectables et reconnectables dans une autre salle de soins.

La Carestream CS 3500 est uniquement disponible en version filaire USB.

Ce format a l'avantage d'être plus facilement transportable d'une salle de soin à une autre mais nécessite des ordinateurs réellement performants.

Figure 59 : Systèmes d'empreinte optique intra-buccale sur chariot,

De gauche à droite : Apollo DI (Photo : Sirona), True Definition (Photo : 3M), TRIOS (Photo : 3Shape), la MiA3d (Photo : densys3D)

Ce qui intéresse les chirurgiens-dentistes ainsi que les patients, c'est la taille de l'embout que l'on va utiliser pour enregistrer l'arcade et qui doit être capable d'aller enregistrer la face distale d'une deuxième molaire.

Dans ce domaine aussi, les fabricants ont clairement progressé en miniaturisant les têtes des caméras, ce qui était nécessaire pour démocratiser l'usage des caméras auprès des

professionnels, et son utilisation dans un plus grand nombre de bouches. Notamment dans les bouches d'enfants qui nécessitent une caméra rapide et petite.

On observe sur l'illustration ci-dessous, qui compare les tailles des différents embouts de caméra que l'extrémité s'affine.

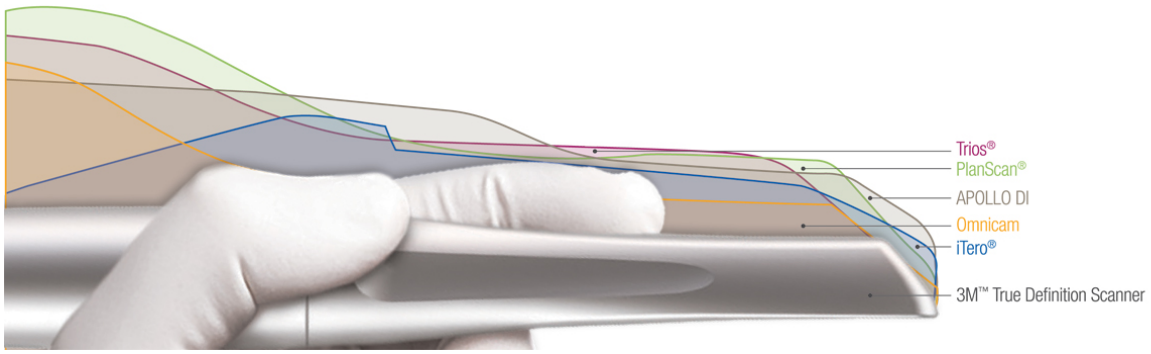


Figure 60 : Illustration des tailles des caméras

(www.3M.com)

Sur l'image ci-dessous, on peut observer les progrès réalisés par Sirona dans la miniaturisation des caméras entre l'ancienne Bluecam et la récente Omnicam. L'extrémité passe de 21/19mm à 16mm de diamètre.

Figure 61 : Bluecam et Omnicam de Sirona

(Source : www.sirona.fr)

5.4 Evolution technologique :

La majorité des praticiens pensent investir dans les années à venir dans une caméra d'empreinte numérique. Mais la vitesse d'évolution des systèmes en effraie plus d'un.
Effectivement, tous les ans, à chaque salon sont présentées des évolutions des systèmes existants ou simplement l'apparition de nouvelles machines, aussi ou plus performantes que les caméras actuelles, mais parfois moins performantes.

Dans le domaine de la technologie, une règle est applicable pour tous, (téléphonie, dentisterie, automobile…):
Le produit de demain doit être plus performant que celui d'aujourd'hui !

Mais cette règle ne signifie pas que le produit d'aujourd'hui est mauvais ou n'aura qu'une très faible durée de vie.
Pour preuve, la société Sirona™ fait encore 20% de ses ventes avec la Bluecam®.

Les industriels travaillent continuellement sur l'amélioration de leurs produits et c'est normal. Il y a encore beaucoup de choses à inventer pour améliorer les caméras et les rendre encore plus faciles d'utilisation, plus précises, plus abordables pour les faire rentrer dans un maximum de cabinets dentaires.

Au dernier salon de l'ADF, on a vu de nombreuses offres de location/mise à disposition des caméras avec une offre clé en main qui comprend la maintenance et le changement de produit au bout de 2 ou 3 ans.
Cette proposition est idéale pour les praticiens qui sont un peu réticents à investir entre 40000 et 50000€ dans une caméra, ou pour les praticiens qui veulent rester à la pointe de la technologie à moindre coût.

5.5 L'enregistrement des limites :

C'est l'inconvénient principal qui ne permet pas aujourd'hui aux empreintes numériques de remplacer totalement les empreintes classiques physico-chimiques.
Les caméras optiques ne peuvent enregistrer que ce qu'elles voient.

Les préparations avec des limites intra-sulculaires profondes ou avec des biseaux sous gingivaux sont difficiles à enregistrer car les limites ne sont pas visibles par la caméra donc pas précises.
Une taille de qualité ainsi que la maitrise des méthodes d'accès au sulcus semble indispensable pour garantir une empreinte complète et utilisable.

Il est certain que les résultats d'adaptation et de précision des restaurations prothétiques produites à partir d'empreintes numériques sont *optimums* si les limites sont supra gingivales. Mais ces limites ne sont pas réalisables sur les dents antérieures.

Les techniques d'éviction gingivale et de réalisation de prothèse transitoire doivent être aussi bien maitrisées par le praticien, qu'il procède à une empreinte numérique ou à une empreinte traditionnelle.
Des recherches sont actuellement menées pour développer des caméras de numérisation avec une technologie d'enregistrement par ultra-sons.
Cette technique doit présenter l'avantage de ne pas être gênée par les fluides (salive, sang…).

6 Comparaison des différentes caméras optiques :

6.1 Etude in vitro de ENDER de 2011

L'étude de 2011 de ENDER et MEHL compare sur 5 modèles en plâtre la précision de différentes techniques d'empreintes.
Il compare la caméra AC BLUECAM, la caméra LAVA COS et la technique classique à l'Impregum.
Les mesures obtenues sont comparées à l'aide d'un logiciel aux données acquises par le scanner de référence d'une précision de 2.5µm qui a enregistré les 5 modèles.
Le degré de précision d'empreinte obtenu :

- Cerec Blue Cam : 30.9µm ±7.1µm
- LAVA COS : 60.1µm ±31.3µm
- Impregum (3M) : 61.3 ±17.9µm

Conclusion : la BLUECAM est plus précise que la LAVA COS qui est elle-même plus précise que l'Impregum.

Remarque : Il faut noter que l'étude n'a pas été réalisée dans des conditions cliniques réelles, mais sur des modèles en plâtre, donc dans un milieu non buccal, sans salive, ni humidité, ni contrainte anatomique (langue, joues...)
(30).

6.2 Etude in vitro de Vat der Meer d'aout 2012

L'étude in vitro de Vat der Meer, Wismeijer et Ren publiée en aout 2012 (44) compare la précision de distance et d'angulation de 3 caméras optiques.

Matériel :

- Lava COS
- Cerce AC Bluecam
- iTéro Cadent
- Scanner de référence Leitz PMM 12106
- Logiciel Rapidform
- Modèle mandibulaire avec 3 cylindres

Résumé :

Les scientifiques ont voulu comparer la précision des caméras pour enregistrer des piliers implantaires. Ils ont donc créé un maître modèle avec 3 cylindres qui représentent les piliers.

Le modèle a été scanné une fois avec le scanner de référence, puis 10 fois avec chaque caméra.

Ils ont mesuré la distance entre les piliers 1 et 2 puis entre 1 et 3.

Ils ont ensuite mesuré la variation d'angulation entre les piliers 1 et 2 puis 1 et 3.

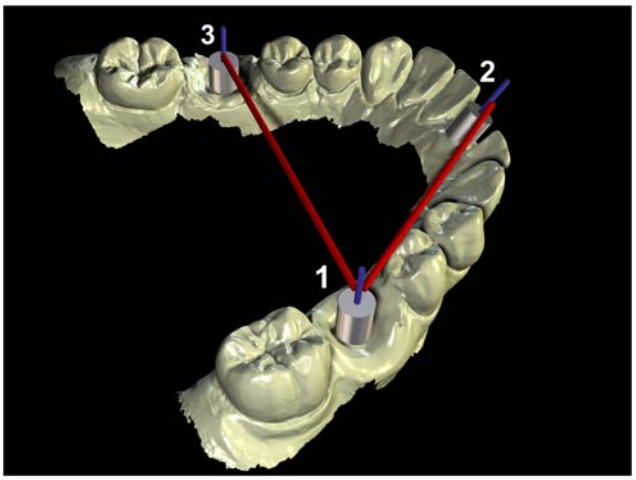


Figure 62 : Modèle d'étude (44)

Tableau 4 : Résultats des mesures des distances de Vat der Meer de 2012

	Cerec Bluecam µm	iTéro µm	Lava COS µm
Scan piliers 1 et 2 (demi arcade)	79.6 ±77.1	70.5 ±56.3	14.6 ±12.7
Scan piliers 1 et 3 arcade complète	81.6 ±52.5	61.1 ±53.9	23.5 ±14.2

Tableau 5 : Résultats des mesures des angulations de Vat der Meer de 2012

	Cerec Bluecam °	iTéro °	Lava COS °
Scan piliers 1 et 2 (demi arcade)	0.6303 ±0.5499	0.3451 ±0.3382	0.2049 ±0.0440
Scan piliers 1 et 3 arcade complète	0.4378 ±0.3211	0.4192 ±0.1667	0.4722 ±0.1436

Conclusion :

Les auteurs ont conclu que le Lava COS, en combinaison avec un protocole de numérisation de haute précision a enregistré les erreurs de distance les plus petites et les plus constantes des trois scanners testés pendant l'enregistrement de l'arcade complète ou d'une demi-arcade.

Le Lava COS est également significativement le plus précis dans l'enregistrement de l'angulation des piliers situés sur la demi-arcade.

On note toutefois que les trois caméras sont très proches dans leur précision d'enregistrement des angulations sur une arcade complète.

6.3 Etude in vitro de Seelbach de septembre 2013

Les docteurs Seelbach, Brueckel et Wöstmann publièrent une étude en septembre 2013 (45) qui compare la finesse de l'ajustement marginal (AMI), et l'ajustement interne (IF) de couronnes tout céramique produites à partir d'empreintes conventionnelles et numériques.

L'ajustement marginal est gage de protection du parodonte et l'ajustement interne est gage de solidité de la couronne.

Ils utilisèrent pour leur expérience :

- un maître modèle avec dents en acier
- Cerec Bluecam
- LAVA COS
- iTéro

- empreinte classique 1 étape avec couronne LAVA Zirconia
- empreinte classique 1 étape avec couronne en CERA E
- empreinte classique 2 étapes avec couronne LAVA Zirconia
- empreinte classique 2 étapes avec couronne en CERA E
- un scanner qui mesure 50 points par dent
- un logiciel de comparaison

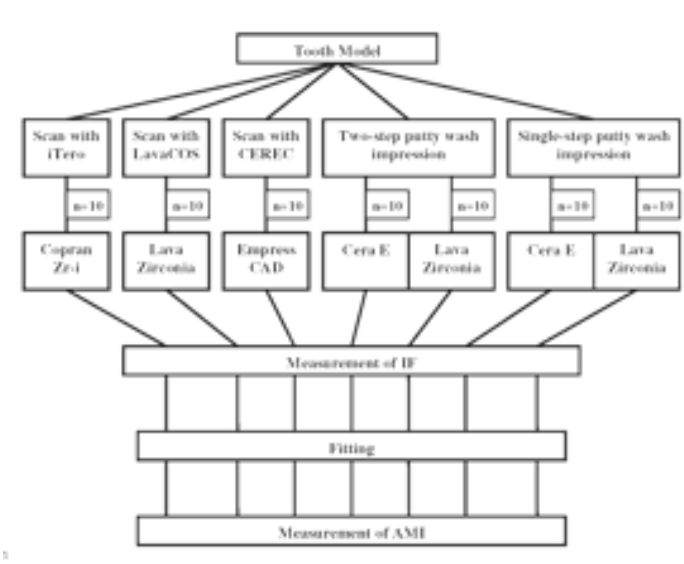


Figure 63 : Schéma de l'étude (45)

Figure 64 : Modèle d'étude (45)

Tableau 6 : Résultats de l'étude de Seelbach de septembre 2013

Impression/scan	Matériel	Ajustement marginal (µm)	Ajustement interne (µm)
Cerec Bluecam	Empress CAD	30 (±17)	88 (±20)
LAVA COS	Lava Zirconia	48 (±25)	29 (±7)
iTéro	Copran Zr-i	41 (±16)	50 (±12)
Emp 1 étape	Lava Zirconia	33 (±19)	36 (±5)
Emp 1 étape	Cera E alloy	38 (±25)	44 (±22)
Emp 2 étapes	Lava Zirconia	60 (±30)	35 (±7)
Emp 2 étapes	Cera E alloy	68 (±29)	56 (±36)

Le tableau ci-dessus présente les conclusions de l'étude sur modèle in vitro.
On peut observer que l'ajustement marginal et interne des couronnes obtenues par empreinte numérique, quelle que soit la machine, est comparable aux couronnes obtenues par empreinte classique.
Cependant comme le dit l'auteur, des études in vivo doivent être réalisées pour confirmer les résultats en prenant en compte les saignements, la salive et d'autres difficultés cliniques.

6.4 Etude in vitro de Patzelt de novembre 2013

L'étude de Patzelt, Emmanouilidi, Stampf, Strub et Att (46) publiée en Novembre 2013 a voulu comparer 4 caméras optiques.

Matériel:

- iTéro
- CEREC AC Bluecam
- Lava COS
- Zfx IntraScan (Italie)
- Scanner IScan D101 de référence (Suisse)
- Un logiciel de comparaison : Geomagic Qualify™
- Un modèle de 14 dents en polyuréthane

Résumé :
Le modèle est scanné une fois par le scanner de référence, puis 5 fois par chaque caméra.
Le logiciel donne plusieurs valeurs :

- La précision : la reproductibilité des mesures du même modèle par chaque caméra.
- La justesse : comparaison de la valeur moyenne des 5 scannages de la caméra avec le scan de référence.

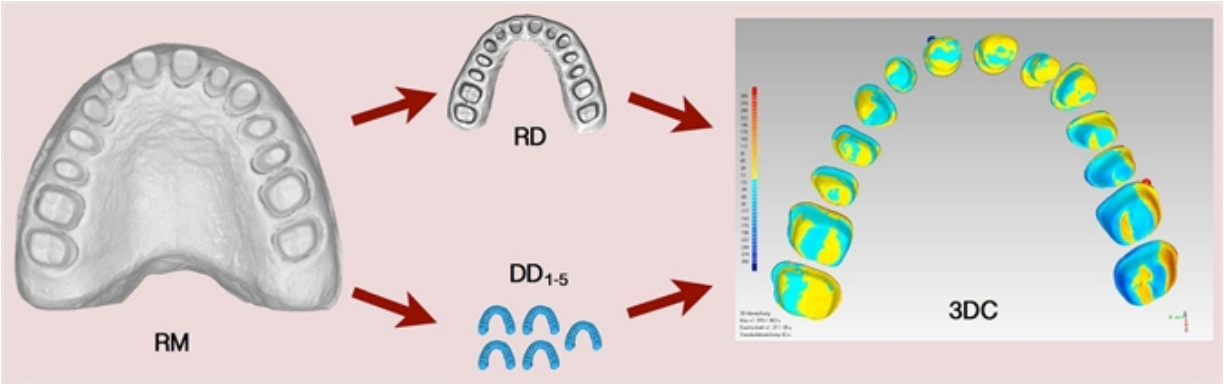


Figure 65 : Schéma de l'étude de Patzelt (46)

RM : Modèle de référence / Maitre modèle

RD : Scan du maitre modèle par le scan de référence

DD : 5 scannages réalisés par caméra

3DC : comparaison des données informatiques entre les 5 DD et le RD

Tableau 7 : Résultats de l'étude de Patzelt de novembre 2013

	Justesse (µm)	Précision (µm)
iTero	49.0 ±13.6	40.4 ±11.3
CEREC Bluecam	332.9 ±64.8	99.1 ±37.4
Lava COS	38.0 ±14.3	37.9 ±19.1
Zfx IntraScan	73.7 ±26.6	90.2 ±26.7

Conclusion des auteurs :

La caméra Bluecam a montré une différence significative avec les autres caméras qui semblent plus précises.

D'autres études en conditions cliniques sont nécessaires pour confirmer la validité de ces résultats.

6.5 Etude in vivo de Brawel de décembre 2013

Une des rare études in vivo, publiée en décembre 2013 (29) par Brawel, Wolfart, Endres, et Reich. Elle compare la précision du processus de réalisation d'une couronne en zircone-céramique avec un flux 100% numérique. Les deux systèmes CAO/FAO comparés sont le LAVA COS et le Cerec BLUECAM.

Matériel :

- LAVA COS
- Cerec BLUECAM
- 14 patients nécessitant une couronne unitaire et coopérant
- Silicone light
- Microscope X200

Résumé :
Les 14 patients doivent recevoir une couronne unitaire. Toutes les préparations sont scannées après mise en place d'un fil de rétraction, par la caméra Cerec et la caméra LAVA.
Les fichiers sont envoyés et traités dans les centres LAVA et CEREC puis l'empreinte est renvoyée dans deux laboratoires allemands pour réaliser la couronne.

Pour étudier la précision d'ajustement, on injecte du silicone light dans les couronnes puis on les met en place sous une pression de 20N.
Ce silicone est ensuite recouvert d'un putty pour pouvoir être coupé en camembert.
Le silicone light sera ensuite mesuré à 4 endroits par coupe au microscope.

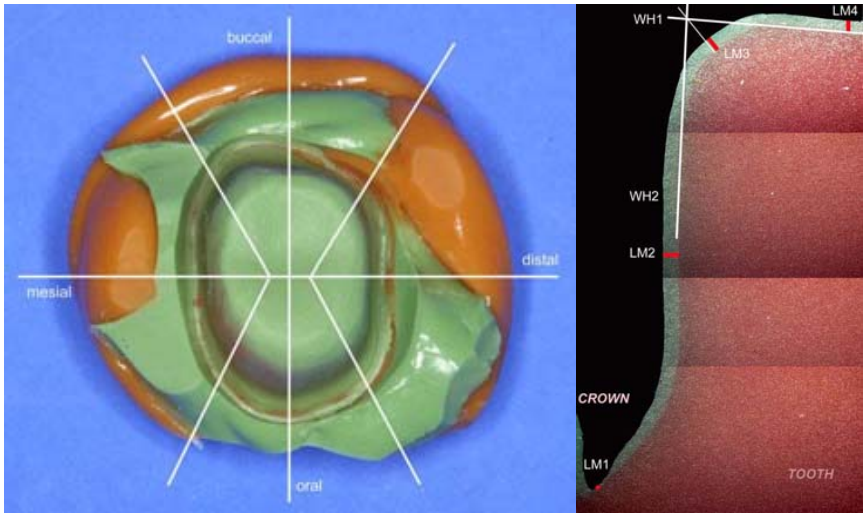


Figure 66 : Silicone light recouvert de putty avec vue des différentes coupes (29)

Figure 67 : Vue des 4 points de mesure par coupe (29)

Tableau 8 : Résultats de l'étude de Brawel de décembre 2013

	LAVA COS (µm)	CEREC Bluecam (µm)
LM1	51 ±38	83 ±51
LM2	130 ±56	129 ±66
LM3	178 ±55	230 ±71
LM4	181 ±41	297 ±76

Conclusion :

Les auteurs ont réussi à comparer la précision d'un travail tout numérique.

Ils ont pu observer une différence de précision significative pour le LAVA mais cette différence en faveur de ce dernier reste relative. En effet les résultats du CEREC sont tout à fait acceptables. La différence entre les deux étant inférieure à 120µm, seuil d'acceptabilité dans la précision des empreintes émis par McLean en 1971 auquel font référence les auteurs.

6.6 Etude in vitro de Schaefer de juin 2014

Une autre étude publiée en juin 2014 (28) des docteurs Schaefer, Decker, Wittstock, Kuepper et Guentsch a pour objectif de comparer in vitro la précision de 4 caméras intra orales.

Matériel :

- iTéro
- Trios
- Cerec Bluecam
- LAVA COS
- Un modèle mandibulaire en acrylique avec une dent préparée
- Une usineuse 5 axes
- Scanner pour modèle et restauration

Résumé :

Pour comparer la précision des différentes caméras, les scientifiques ont scanné 5 fois le modèle avec chacune des 4 caméras puis ils ont réalisé une restauration en disilicate de lithium avec la même machine outils 5 axes pour les 4 caméras.

Les restaurations sont ensuite scannées et comparées au modèle de référence.

Résultats :

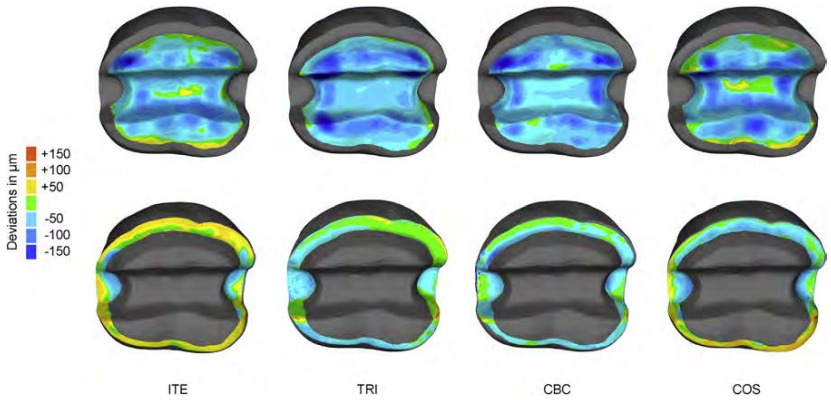


Figure 68 : Code couleur pour représenter la précision d'adaptation interne (1re ligne) et précision marginale (2nd ligne) (28)

Tableau 9 : Résultats de l'étude de Schaefer de juin 2014

	Adaptation marginale (µm)	Adaptation interne (µm)
Itéro	90 ±14	92 ±9
LAVA COS	109 ±11	92 ±10
TRIOS	128 ±9	106 ±7
Cerec Bluecam	146 ±17	84 ±16

Conclusion :

Les auteurs ont conclu que la caméra LAVA COS permettait de produire une couronne avec une adaptation marginale significativement meilleure, comparée au CEREC AC.

Les résultats pour le LAVA et l'iTéro n'étaient pas significativement différents.

Les 4 caméras étudiées présentent toutes des résultats acceptables.

6.7 Etude in vitro de Nedelcu de décembre 2014

L'étude des docteurs Nedelcu, Robert, Persson et Anna publiée en décembre 2014 (47) dans le journal « The Journal of Prosthetic Dentistry » cherche à évaluer la précision de 4 scanners intra oraux.

Matériel :

- 3M Lava COS
- Cerec Bluecam
- iTéro
- E4D
- Maitre modèle en Telio CAD (TC) (polyméthacrylate de méthyle)
- Maitre modèle en Titane (Ti)
- Maitre modèle en Zircone (ZR)
- Scanner optique industriel
- Logiciel d'analyse « 3D compare »

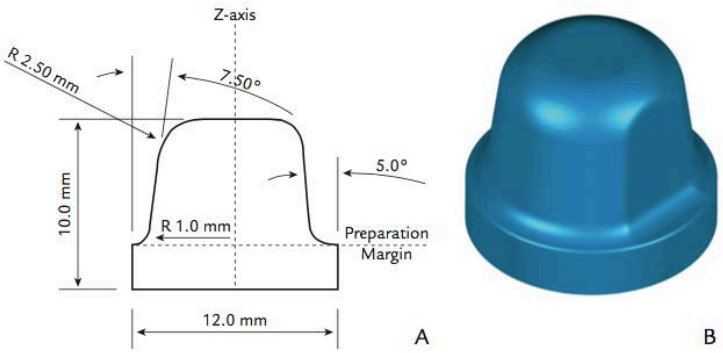


Figure 69 : Dimension du maitre modèle. (47)

Résumé :

Les 3 maitres modèles ont été scannés 3 fois par le scanner de référence ATOS™ puis 10 fois par chaque caméra.

On a comparé ensuite chaque mesure réalisée avec les caméras à la moyenne obtenue avec le scanner de référence.

Résultats :

Le tableau ci-dessous présente les résultats.

On peut observer la moyenne positive et négative de chaque mesure réalisée avec les caméras optiques et la valeur de référence du scannage avec le scanner ATOS™ en µm.

Tableau 10 : Résultats de l'étude de Nedelcu de décembre 2014

	Telio CAD			Titane			Zircone		
	moyenne +	Moyenne -	SD	moyenne +	Moyenne -	SD	moyenne +	Moyenne -	SD
3M LAVA	17	-11	14	17	-13	16	12	-9	12
Bluecam	14	-10	13	8	-9	12	10	-9	13
Itéro	16	-15	19	8	-11	13	7	-7	10
E4D	46	-31	46	39	-20	42	29	-17	31

Le logiciel 3D Compare a produit cette image avec une échelle de couleurs pour visualiser où se situent les zones d'enregistrement avec les plus ou moins grandes imprécisions d'enregistrement sur le modèle Telio.

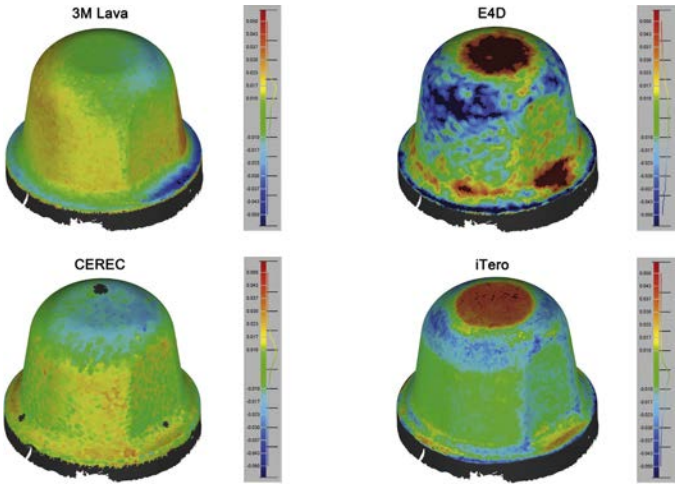


Figure 70 : Image comparative des différents scanner sur modèle TC (47)

Vert = 10µm

Noir = 50µm

Conclusion :

Les auteurs ont conclu que les 4 caméras possèdent une précision d'enregistrement acceptable mais ont relevé une différence significative en faveur des caméras 3M Lava, Bluecam et Itéro.

Une étude supplémentaire est à réaliser avec des formes à enregistrer plus proches de l'anatomie d'une dent.

6.8 Etude in vitro de Ender de janvier 2015

Les docteurs Ender et Mehl réalisèrent une autre étude publiée en janvier 2015 (48),
Elle avait comme objectif de comparer la précision d'enregistrement de différents matériaux d'empreinte et caméras optiques à un scanner professionnel de référence.

Matériel :

- POE : polyether
- VSE : vinylsiloxanether
- VSES : vinylsiloxanether scanné avec le scanner de référence avec coulée
- VSES+dig : vinylsiloxanether scanné avec le scanner de référence sans coulée
- ALG : alginate
- CER : Bluecam
- OC : Omnicam
- ITE : iTéro
- LAV : LAVA COS
- Maître modèle

Figure 71 : Maître modèle de l'étude de Ender (48)

Les mesures de justesse comparent la valeur moyenne du groupe avec la valeur de référence.
Les mesures de précision indiquent les écarts au sein du même groupe évalué.

Tableau 11 : Résultats de l'étude de Ender de janvier 2015

	Justesse (µm)	Précision (µm)
POE : polyether	60.2 ±25	66.7 ±18.5
VSE : vinylsiloxanether	13.0 ±2.9	12.3 ±2.5
VSES : vinylsiloxanether scanné avec le scanner de référence avec coulée	11.5 ±1.3	14.6 ±2.6
VSES + dig : vinylsiloxanether scanné avec le scanner de référence sans coulée	35.1 ±5	39.6 ±19.7
ALG : alginate	37.7 ±34.9	59.6 ±43.6
CER : Bluecam	29.4 ±8.2	19.5 ±3.9
OC : Omnicam	37.3 ±14.3	35.3 ±11.4
ITE : iTéro	32.4 ±7.1	36.4 ±21.6
LAV : LAVA COS	44.9 ±22.4	63.0 ±32.8

Les conclusions de l'étude dans le tableau ci-dessus montrent que :

- Les différentes méthodes d'enregistrement classique et numérique montrent une grande différence de précision d'enregistrement d'arcades complètes.
- Les empreintes VSE, VSES, et CER ont montré la plus haute précision, avec des déviations moyennes de 13,0 µm, 11,5 µm et 29,4 µm.
- Les empreintes VSES-DIG (35,1 µm), ITE (32,4 µm), OC (37,3µm), LAV (44,9 µm), et ALG (37,7 µm) ne sont pas significativement différentes les unes des autres (P> 0,05), mais étaient significativement différentes de ceux des groupes VSE, TPE, et CER.

L'empreinte classique reste donc une empreinte de précision tout comme la caméra Bluecam pour l'enregistrement de l'ARCADE COMPLETE.

Il faut noter que ce gain de précision à l'enregistrement peut être perdu à la conception de la prothèse si elle est réalisée en technique traditionnelle.

6.9 Etude in vivo de Boeddinghaus de novembre 2015

Une étude récente de Boeddinghaus, Breloer, Rehmann et Wostmann publiée en novembre 2015 (49) compare la précision in vivo de 3 caméras optiques.

Matériel :

- TRIOS
- Cerec Omnicam
- True Définition
- Scanner de laboratoire D700
- 24 patients avec 49 dents à couronner
- silicone light et putty (utilisés pour les répliques)
- microscope

Résumé :

Les auteurs ont taillé 49 dents de 24 patients prêtes à recevoir une couronne.

Ils ont placé une dent provisoire sur les préparations pendant 1 semaine avant de réaliser les empreintes pour éviter les saignements.

Le jour des empreintes, des cordonnets sont placés. Les patients subissent les 3 empreintes numériques puis une empreinte classique qui sera ensuite coulée et scannée avec le scanner D700.

Une coiffe en zircone est usinée pour chaque dent par le même prothésiste avec le logiciel Exocad et la même machine outil DWX-50.

Pour mesurer la précision des couronnes, les auteurs utilisent un système de réplique, comme Brawel en décembre 2013 (29).

Ils injectent un silicone light entre la couronne et la dent puis mettent en place la couronne. Ensuite ils retirent la couronne avec le silicone light à l'intérieur, un deuxième silicone est injecté dans la couronne. Cet ensemble de silicone est ensuite découpé en plusieurs camemberts qui seront étudiés au microscope.

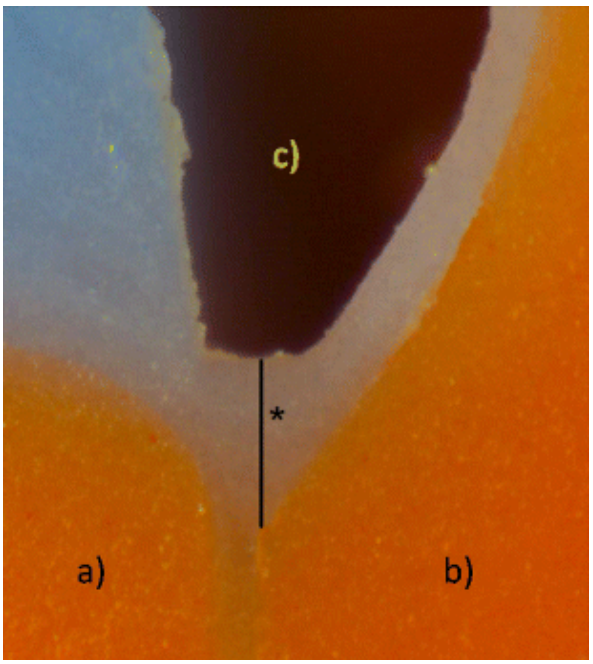


Figure 72 : Section de réplique (49) :

a = gencive ; b = dent ; c= la chape ; * = adaptation marginale

Tableau 12 : Résultats de l'étude de Boeddinghaus de novembre 2015

	Omnicam (µm)	True Def (µm)	TRIOS (µm)	D700 (µm)
Mésial	180	98	121	113
Distal	153	97	114	105.5
Vestibulaire	138	94	111	114
Occlusal	134	75	112	107
Marginal	149	88	112	113

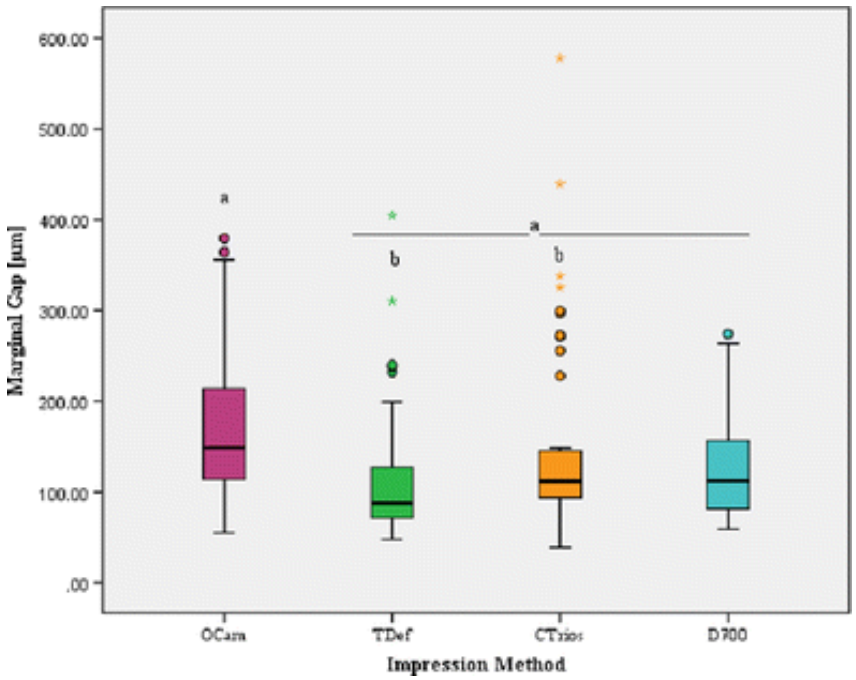


Figure 73 : Synthèse des résultats pour l'adaptation marginale.(49)

- Cerec Omnicam
- True Définition
- TRIOS
- Scanner de laboratoire D700

Conclusion :

Les auteurs ont pu conclure que pour les 3 caméras il n'y avait pas de différence significative entre les 4 sites de mesure de chaque caméra.

Ils ont observé une différence significative en défaveur de la caméra Omnicam sur l'adaptation marginale des couronnes réalisées, et un résultat similaire pour les autres techniques.

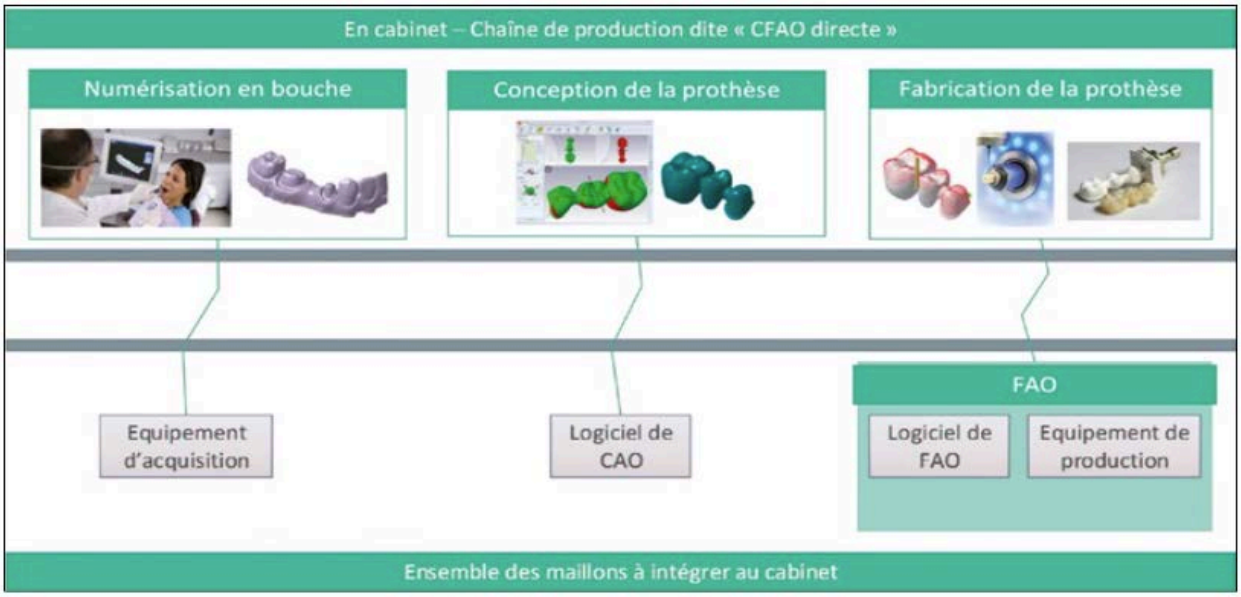
Une mesure in vivo de l'interstice marginal n'est pas réalisable en bouche.

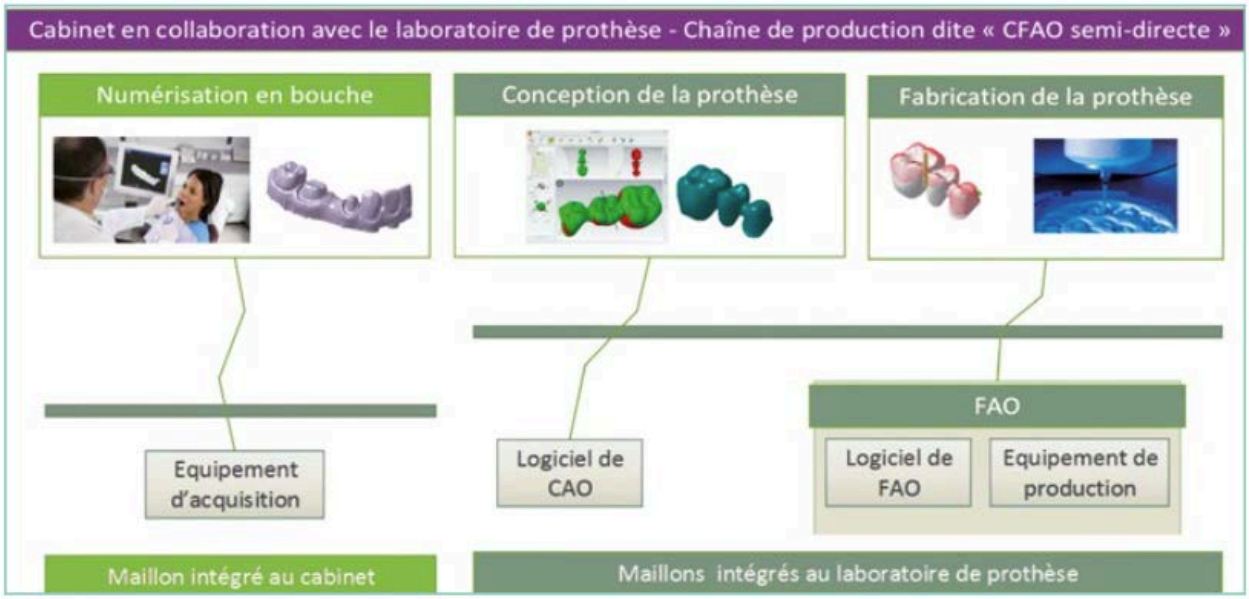
7 Discussion ; L'empreinte optique a-t-elle sa place dans un cabinet dentaire d'omni-pratique ?

La conception et la fabrication de prothèses dentaires sont déjà passées à l'ère du numérique via la CFAO indirecte.
En effet, ce sont les laboratoires qui scannent les moulages issus de nos empreintes par technique conventionnelle puis la conception est réalisée sur ordinateur et l'usinage est réalisé par une machine-outil localisée dans le laboratoire ou dans de grands centres en France ou à l'étranger.

L'empreinte optique permet désormais la réalisation de prothèses en CFAO directe et semi directe puisque la numérisation se fait directement dans la bouche du patient et non plus sur un modèle en plâtre.

Le praticien peut décider de s'équiper d'une machine-outil pour réaliser les prothèses au cabinet : c'est la CFAO Directe.
Ou bien, il peut envoyer le fichier numérique de l'empreinte à son prothésiste : c'est la CFAO semi-directe.





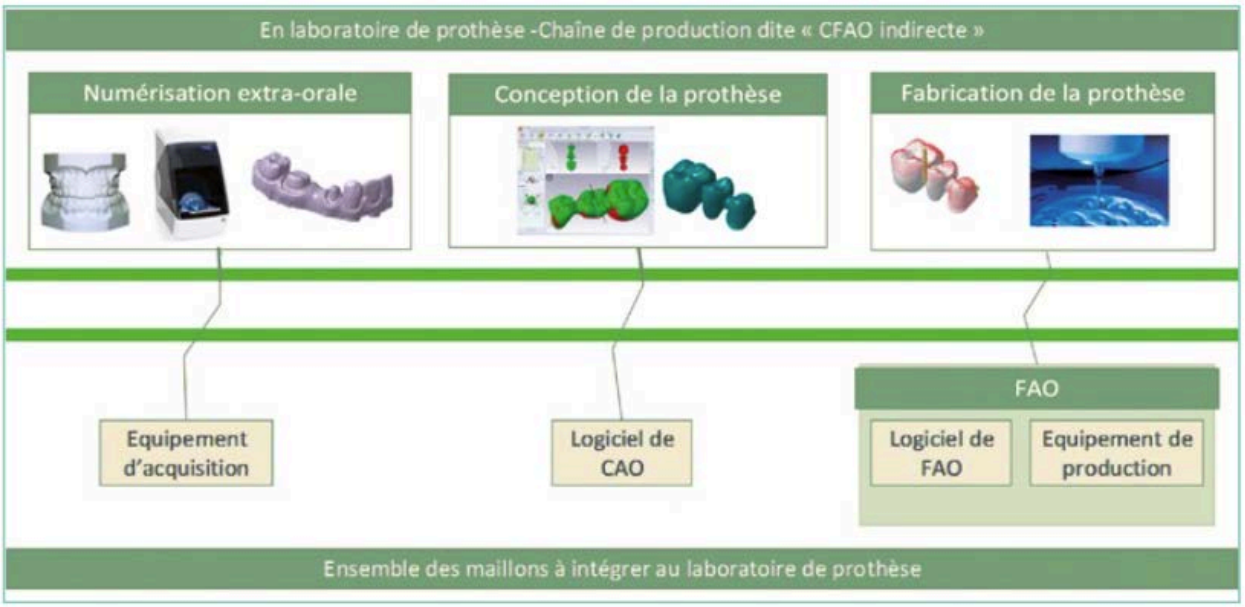


Figure 74, 75, 76 : Chaine CFAO Directe / Semi-directe / Indirecte (50)

D'après les représentants CEREC-SIRONA, les choix des praticiens se répartissent ainsi :

- 80% : optent pour le système de CFAO directe (caméra + machine outils)
- 20% : pour le système de CFAO semi directe (caméra)

Et sur les 20% qui ne commandent que la caméra, une majorité s'équipera à moyen terme d'une machine-outil pour réaliser des prothèses simples en une seule séance.

La question n'est plus de savoir s'il faut ou pas rejoindre les 3% de cabinets français équipés pour utiliser les techniques d'empreinte numérique mais avec quel produit équiper le cabinet. Il est temps de rendre complète la chaine numérique de la prothèse, car le dernier maillon manquant est prêt : « l'empreinte ».

Avant de se lancer dans l'achat d'un système numérique, il est recommandé d'aller faire un stage chez un confrère équipé du matériel que l'on envisage d'acheter avec éventuellement un de ses propres patients. Le mieux étant de se faire prêter par le fabricant la machine pendant un certain temps pour un essai.
En effet, on ne peut pas envisager un achat d'une telle importance après avoir simplement réalisé une empreinte sur modèle en plâtre lors d'un salon professionnel.

7.1 Les besoins.

Le premier point va être de cerner ses besoins. En effet, en fonction des différents domaines d'utilisation au sein du cabinet, le praticien va plus ou moins s'orienter vers un certain type de modèle.
Les caméras anciennes, plus basiques ne permettent pas, ou difficilement, le scannage d'une arcade complète, mais restent cependant très efficaces pour la prise d'empreinte et la réalisation de prothèses fixées de petite étendue.
La question d'investir dans un modèle récent est pertinente si la caméra doit être utilisée par un orthodontiste au sein du cabinet ou pour la réalisation de prothèses de grande étendue, dento ou implanto portée.

7.2 Les différentes présentations.

Un deuxième point essentiel est la présentation de la caméra elle-même.
Le choix entre une présentation sur socle ou sur un kart indépendant dépend de l'agencement du cabinet et de la place dont on dispose.
Une troisième version est également disponible mais comme elle est intégrée à la configuration d'un nouveau fauteuil Planmeca® ou Sirona® par exemple, elle ne concerne pas un cabinet souhaitant « seulement » s'équiper d'une caméra d'empreinte numérique :

- Le kart a l'inconvénient de prendre plus de place mais il est très mobile au sein du cabinet et peut être facilement déplacé. Il a l'inconvénient d'être plus imposant et d'être fourni avec une unité centrale qu'il faut alimenter en électricité.
  Cette présentation est souvent difficilement améliorable car l'ordinateur est inaccessible mais les constructeurs proposent de plus en plus un système de mise à jour des logiciels et des ordinateurs pour apporter toujours suffisamment de puissance à la caméra qui en demande toujours plus.

- La présentation Socle/USB à l'avantage d'être très peu encombrante, très intégrée au cabinet dentaire et facilement transportable d'une pièce à une autre. Mais il faut garder en tête que ces caméras possèdent de nombreux algorithmes de calcul très énergivores, qui nécessitent des ordinateurs performants. Il faut donc s'assurer que chaque salle de soins soit équipée avec un ordinateur suffisamment puissant.

7.3 Poudrage et couleurs.

Un troisième point important lié au confort d'utilisation pour le praticien et le patient est le choix d'un système nécessitant ou non un poudrage avant numérisation ainsi que la possibilité d'enregistrer en couleur ou en noir et blanc.
Les dernières technologies permettent l'enregistrement sans poudrage et en couleur. L'enregistrement a l'avantage d'être plus rapide et plus agréable pour le patient et la numérisation de toute une arcade est possible.
Les caméras nécessitant un poudrage sont aussi efficaces, mais l'enregistrement est plus difficile à réaliser quand il faut poudrer et numériser toute une arcade tout en maintenant la bouche au sec, sans que le patient ne bouge, ni ne ferme la bouche ou ne déglutisse.
L'apport de la couleur est indéniablement un plus pour le praticien, les limites des préparations sont plus faciles à marquer. La couleur est aussi un atout pour la communication avec le patient.
Cependant cela n'améliore pas la précision d'enregistrement, les caméras noir et blanc comme la TrueDef ou la Bluecam produisent des enregistrements de qualité malgré l'absence de couleur.

7.4 Taille de la caméra et de l'embout.

La taille de la caméra et plus particulièrement de l'embout est également un élément de décision avant l'achat. Les premières caméras étaient de taille plutôt imposante et nécessitaient un certain temps d'apprentissage. Les fabricants mettent en avant la finesse et la manipulation aisée des modèles récemment mis sur le marché. C'est le cas de la DentalWing™, True definition™ etc.. Mais les marques pionnières sur le marché de l'empreinte optique, réduisent aussi significativement la taille et l'épaisseur de l'embout que ce soit Sirona® avec les différentes générations de CEREC™ ou 3shape® avec la troisième génération de TRIOS™.
On ne peut que conseiller au praticien de les essayer au sein d'un cabinet et de s'exercer à enregistrer les deuxièmes molaires.

7.5 La précision.

Les différentes études résumées dans la partie 6, comparent la précision de plusieurs caméras. Malheureusement, on retrouve souvent les mêmes modèles de caméras.
Tout d'abord parce qu'elles sont sur le marché depuis plus longtemps, elles ont donc eu le temps de s'implanter chez les chirurgiens-dentistes.
Mais aussi parce que beaucoup de nouvelles caméras sorties ces dernières années n'ont pas encore pu faire l'objet d'études comparatives.

Pour la majorité des auteurs, de nombreuses caméras présentent un niveau de précision cliniquement acceptable.
Il ne faut pas perdre de vue que l'empreinte est le premier maillon de la chaine numérique, et que c'est bien la précision d'adaptation de la prothèse issue de l'empreinte optique qui compte.
La « course à la précision » des caméras n'a d'intérêt que si les usineuses peuvent reproduire un niveau de précision similaire.
Le tableau suivant résume les études les plus récentes évaluant la précision (µm) de numérisation des scanners intra-oraux en les comparant avec un scanner de laboratoire.

Tableau 13 : Synthèse des résultats des différentes études comparant la précision d'enregistrement des scanners intra-oraux

	CeRec Bluecam	CeRec Omnicam	Itero	Lava COS	E4D	Impregum	Alginate
In vitro Ender 2011	30.9 ±7			60.1±31.3		61.3 ±18	
In vitro VatDerMeer 2012	81.6±52.5		61.1±53.9	23.5±14.2			
In vitro Patzelt 2013	332.9±64.8		49±13.6	38±14.3			
In vitro Nedelcu 2014	24 ±13		31±19	28 ±14	77±46		
In vitro Ender 2015	19.5±3.9	35.3±11.4	36.4±21.6	63±32.8		66.7±18.5	59.6±43.6

Le tableau ci-après résume les études les plus récentes qui comparent l'ajustement (µm) des couronnes obtenues après une empreinte numérique.
Dans les deux premières études des machines-outils différentes ont été utilisées.
Dans les deux dernières, les couronnes ont été produites avec la même usineuse dans le même laboratoire.

Tableau 14 : Synthèse des résultats des différentes études traitant de la precision des couronnes

		CeRec Bluecam	Cerec Omnicam	Itero	Lava COS	Trios	Alginate
In vitro Seelbach 2013	Marginale	30±17		41±16	48±25		
	interne	88±20		50±12	29±7		
In vivo Brawel 2013	Marginale	83±51			51±38		
	Interne	230±71			178±55		
In vitro Schaefer 2014	Marginale	146±16		90±14	109±11	128±9	
	Interne	86±16		92±9	92±10	106±7	
In vivo Boeddinghaus 2015			149		88 True def	112	113

7.6 Inlay-core

La question des inlay-cores est une question assez récurrente à laquelle peu d'industriels ont su concrètement répondre.

Beaucoup d'intervenants et d'industriels répondent que l'indication des inlay-cores diminue de plus en plus et que l'empreinte numérique est destinée avant tout aux praticiens exerçant une dentisterie à minima, qui conserve le plus possible de structure dentaire pour favoriser par la suite la mise en place de restaurations collées.
Ils ne répondent malheureusement pas aux besoins d'une partie de nos patients.

3Shape® apporte pour le moment la meilleure réponse avec l'enregistrement possible de la mise en forme canalaire via le scannage d'un tenon calibré.
Sirona® propose aussi une solution. En effet l'Omnicam™ possède une profondeur de champ de 14mm qui permet l'enregistrement de la chambre pulpaire et de l'entrée de la préparation canalaire. Le CeRec peut ensuite usiner une couronne avec un léger ancrage radiculaire.

7.7 Implantologie et Orthodontie

Les caméras peuvent désormais équiper les cabinets souhaitant réaliser des empreintes sur implant pour remplacer l'empreinte traditionnelle.
Les caméras sont capables de lire les Scanbodys des grandes marques d'implants.
Pour les marques plus confidentielles ou plus récentes, il suffit de vérifier que les Scanbody des implants utilisés soient dans la base de données de la caméra et dans le logiciel de CAO.

Les cabinets d'orthodontie peuvent aussi s'équiper en caméra d'empreinte numérique à condition de sélectionner un modèle capable d'enregistrer une arcade complète sans trop de contraintes (poudrage, rapidité..), d'autant que la patientèle soignée est souvent jeune…
Il faut aussi prêter attention au partenariat existant entre les fabricants de caméras et les fournisseurs d'appareils orthodontiques.
La plupart de ces derniers ont en effet leur propre degré d'exigence en terme de précision d'empreinte.
Chaque constructeur de caméras doit donc effectuer la démarche auprès du fabricant d'appareils pour obtenir son label : « Invisalign » , « Incognito » , « Harmony » , etc…

Voici un tableau qui récapitule les partenariats fonctionnant en 2015 entre fabricants d'appareils orthodontiques et fabricants de caméras.
Pour la majorité des cases laissées blanches, les fabricants de caméras sont en cours de labellisation, mais aucune date de partenariat n'est avancée.

Tableau 15 : Partenariat entre caméras et appareils orthodontiques.

	Invisalign	Harmony	Incognito	Suresmile	Clearcorrect
Omnicam	✔		✔		
Trios		✔		✔	
True Def			✔	✔	
Itéro	✔		✔	✔	
CS3500				✔	✔

7.8 Format d'enregistrement.

Un point important pour connaître l'interopérabilité de la caméra que l'on souhaite acquérir, est son format d'enregistrement.
Le format standard d'enregistrement est le format STL.
La majorité des caméras utilisent ce format, ce qui leur permet d'envoyer les données vers n'importe quel logiciel de conception puis n'importe quelle usineuse.
Seules les deux caméras les plus vendues ne sont pas tout à fait ouvertes.
Trios™ possède son propre format qui ne peut pas être lu par tous les laboratoires de prothèse. Celui-ci doit être équipé d'un logiciel de conversion payant avec abonnement annuel.
Les caméras CeRec™ possèdent aussi un format qui leur est propre.
Le laboratoire recevant les empreintes doit être équipé du logiciel Sirona Connect (1000 euros).

Avant de choisir, discuter avec son ou ses laboratoires habituels peut être judicieux pour un dentiste qui souhaite faire de la CFAO SEMI-DIRECT.

Les constructeurs offrent de plus en plus souvent une licence « laboratoire » aux cabinets souhaitant s'équiper d'une caméra, ils pourront donc toujours travailler avec leurs laboratoires habituels.

7.9 Evolution vers CFAO directe.

Cerner ses besoins et ses envies au moment de l'achat est important. Mais il peut être judicieux de se laisser l'opportunité d'évoluer, dans un deuxième temps vers la fabrication de prothèses, de guides… au cabinet.
De nombreuses caméras permettent d'évoluer ultérieurement vers de la CFAO directe en ajoutant une usineuse au cabinet dentaire.

Voici les caméras qui ne peuvent pas être connectées à une usineuse au cabinet :

- CeRec Apollo DI
- Itero Element
- Aadva GC
- Condorscan

Voici les caméras qui peuvent être couplées à une usineuse au cabinet :

- CeRec Bluecam et Omnicam
- 3Shape TRIOS
- 3M True Def
- Carestream CS3500
- Planmeca PlanScan
- Kavo Lytho

7.10 Les tarifs.

Le prix de ces nouveaux dispositifs reste le frein majeur de son développement.
Toutes les nouveautés technologiques subissent la même évolution tarifaire que ce soit les lecteurs DVD, Tv écran plat, ordinateur ou tablettes. Elles sont vendues à des tarifs élevés à leur sortie puis avec la multiplication des modèles et donc de la concurrence, les prix commencent à diminuer et finissent par se stabiliser.
Les tarifs des caméras optiques ont commencé à baisser sensiblement depuis l'IDS 2013 et à devenir accessibles, avec un large choix.

Au moment de se lancer dans l'acquisition d'une caméra pour réaliser des empreintes optiques, le chirurgien-dentiste a le choix entre deux catégories de prix.
Les deux caméras les plus chères, Omnicam et TRIOS, sont vendues environ 45000 euros, alors que les autres caméras, True Def , Apollo DI, Itero … sont vendues environ 25000 euros.

Cette différence s'explique par l'avancée technologique et le service après-vente des uns et des autres.
Le praticien peut choisir de faire confiance aux leaders du marché mais cela à un coût, ou bien il peut préférer une caméra moins chère mais dont la fiabilité n'est pas encore éprouvée.

Une grande partie des fabricants de caméras ne commercialisent pas en direct leurs caméras, il est donc important de se renseigner auprès du revendeur sur la tarification de tous les services annexes tels que :

- Frais d'envoi
- Coût pour le laboratoire
- Frais de stockage
- Frais de mises à jour logiciel et matériel
- Reprise possible de l'ancien matériel

Beaucoup d'offres d'achat se présentent sous forme de location pendant laquelle les services de mise à jour et d'entretien sont inclus. Cette solution peut être plus intéressante fiscalement.

Cependant, dans de nombreux cas de location, le cabinet ne devient jamais propriétaire de la caméra

Avec l'apparition des nouveaux modèles comme Aadva, Dental Wing et les autres, on peut s'attendre à voir encore une nouvelle baisse des prix et une démocratisation des systèmes.

7.11 Tableau récapitulatif

	Cerec Omnicam	Cerec Bluecam	Cerec Apollo DI	3Shape TRIOS	3M True Def	Carestream CS3500	Itero Element	Planmeca PlanScan	Dental Wing	Kavo Lythos	GC Aadva	CondorScan
Technologie												
Poudrage	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non
Aquisition Photo		✔				✔						
Aquisition video	✔		✔	✔	✔		✔	✔	✔	✔	✔	✔
Couleur	C			C		C	C			C		C
Monochome		MC	MC		MC			MC	MC		MC	
Présentation :												
Intégrable à l'unité	✔			✔		✔		✔				
Socle à poser	✔			✔		✔	✔	✔		✔		✔
Kart autonome	✔	✔	✔	✔	✔		✔		✔		✔	
Poids (gr)	313	270	100	340	200	295			120	272		200
Manipulation	☺	😐	☺☺	☺	☺☺	😐	☺	😐	☺☺	☺	☺	☺
Décontamination												
Gaine Protection			GP				GP			GP		
Lingette	L	L									L	L
Trempage					T				T			
Embout autoclavable		EA		EA		EA		EA				EA
Applications												
Inlay core	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Implant	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	EN	EN	Non	Non	Non
Orthodontie +/- facile	Oui+	Oui-	Non	Oui+	Oui+	Oui-	Oui+	Non	EN	NR	Non	Non
Nombre partenariat	++	++		++	++	+	+++					
CFAO Direct	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	EN	Oui	Non	Non
Prix	45K	29K	20K	46K	23K	29K	25K	25K	23K	25K	20K	20K

Légende :		
	EN	En développement
	NR	Non renseigné
	☺☺	Facile
	☺	Normal
	😐	Difficile

Conclusion :

L'empreinte dentaire a subi une évolution majeure en rentrant entièrement dans le monde numérique au début de ce nouveau millénaire.
Elle a subi une longue et difficile maturation, depuis son imagination dans la tête du Pr Duret en 1971, en passant par son travail de thèse : « L'empreinte optique », soutenue en 1973 ; jusqu'à la première démonstration durant l'ADF 1985 de la première couronne issue d'une chaine de CFAO directe.

La compétition entre les différentes sociétés produisant les caméras a fait évoluer la technologie des caméras. Désormais, l'enregistrement se fait le plus souvent en vidéo, et il est possible de scanner en couleur et sans poudrage.

Même si peu d'études in vivo ont été réalisées, les différentes études récentes mettent en avant la précision des empreintes par technique numérique mais ne rendent pas pour autant obsolètes les empreintes par technique traditionnelle.

D'après les industriels, les améliorations apportées dans un futur proche aux caméras ne concernent pas la technologie utilisée pour l'enregistrement car la précision obtenue aujourd'hui semble suffisante.
Les recherches se concentrent sur la miniaturisation des caméras pour rendre leur usage plus aisé et sur les logiciels de conception intégrés à la caméra, pour les rendre plus rapides et plus faciles d'utilisation. Les industriels travaillent à enregistrer l'occlusion du patient pour pouvoir concevoir la prothèse avec une occlusion précise et fidèle.
Certains constructeurs misent sur l'aspect ludique des caméras, en intégrant des commandes vocales et gestuelles.

On peut espérer que dans un futur proche, toutes les caméras utiliseront les mêmes formats et pourront toutes communiquer avec tous les laboratoires de prothèse.

Dans un futur plus éloigné, les caméras seront peut être sans fil et connectées à une tablette graphique qui permettrait au praticien de tracer avec précision les limites de la préparation.

La recherche sur la technologie d'enregistrement par ultra-sons permettra peut-être de réaliser des enregistrements de préparations sous gingivales car le sang et la salive empêchent les caméras d'aujourd'hui de réaliser une empreinte de qualité.
Cela permettrait l'utilisation de l'empreinte numérique pour 100% des cas, ce qui n'est malheureusement pas possible aujourd'hui.

L'empreinte a subi un important virage technologique et tous les signaux indiquent qu'elle peut intégrer les cabinets dentaires.
La chaine numérique est en place et fonctionne parfaitement dans les laboratoires, ne manquent plus que des caméras d'empreintes.
Les industriels se livrent bataille pour nous équiper en nous proposant un très large choix. Le domaine d'application de l'empreinte numérique ne se limite plus à des restaurations unitaires mais s'est considérablement élargi, elle peut désormais intéresser les cabinets d'orthodontie et d'implantologie.

L'empreinte numérique bouleverse les rapports praticien-prothésiste en facilitant la communication entre nos deux métiers et place le patient au centre des discussions.
Dans la période actuelle où les patients cherchent et réclament beaucoup d'informations et de transparence et de la part des praticiens, la caméra d'empreinte numérique est un formidable outil de communication pour expliquer le travail du chirurgien-dentiste et rétablir ce lien de confiance primordial entre patient et praticien.

La dentisterie vit une période très enthousiasmante avec un champ de possibilités de plus en plus vaste. L'empreinte numérique s'ajoute à la liste des outils sophistiqués mis à disposition du chirurgien-dentiste qui permettent d'offrir des soins de qualité et rendre à nos patients le sourire qu'ils méritent.

Bibliographie

1. DURET F.
Le fonctionnement des caméras endobuccales.
Technol Dent. 2011;295/296:45–50.

2. LANDEWERLIN O, FAGES M.
L'empreinte optique : Silence on tourne!
Strat Prothétique. 2014 ;14(2):115–28.

3. DURET F, PELISSIER B.
Differentes méthodes d'empreinte en CFAO dentaire.
EMC-Médecine Buccale. 2010;1-16 (article 28-740-R-10).

4. LANDEWERLIN O.
L'Empreinte optique Intra-Buccale et ses applications au cabinet dentaire.
Sarrebruck : Editions Universitaires Européennes. 2011.

5. MERCHANT V, HERRERA S, DWAN J.
Marginal fit of cast gold MO inlays from disinfected elastomeric impressions.
J Prosthet Dent. 1987; 58(3): 276-80.

6. MCINTOSH A.
Dental CAD/CAM.
Computer Graphics World. 1990 ; Mar : 109-12.

7. DUMINIL G, ALLARD Y, ANDRE J.
Caméras de prise d'empreinte, l'heure du choix?
Inf Dent. 2011; 93 (40-41):45–59.

8. ROUACH T.
L'empreinte optique : une réalité au service de l'équipe de soins.
Clinic (Paris). 2011;32(8):431–9.

9. ZEBOULON S.
Les modèles SLA.
Strat Prothétique. 2010 ;10(5):363–8.

10. JEANNIN V.
3M-LaVa-coS.
Fil Dent. 2011;63:38–42.

11. SYREK A, REICH G, RANFTL D, CHRISTOPH KLEIN, CERNY B, BRODESSER J.
Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling.
J Dent. 2010;38(7):553–9.

12. SCHNEIDER W.
CEREC meets implantology.
CEREC Ztg. 2008;13:1.

13. RITTER L, NEUGEBAUER J, DREISEIDLER T, ROTHAMEL D, CIZEK J,
KARAPETIAN VE, et al.
3D X-ray meets CAD/CAM dentistry: a novel procedure for virtual dental implant planning.
Int J Comput Dent. 2009;12(1):29–40.

14. KARL M, WICHMANN M, HECKMANN S, KRAFFT T.
Strain development in 3-unit implant-supported CAD/CAM restorations.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2008;23(4):648–52.

15. AZOULAY P.
Le trios de 3Shape aide à faire entrer le monde dentaire dans l'ère du numérique.
Orthod Bioprogressive. 2014;22(2):35–43.

16. 3M France.
Solutions 3M pour le Soin Oral Professionnel : l'expertise du soin oral version numérique [en ligne].
2013 [consulté le 16 novembre 2015]. Disponible : http://solutions.3mfrance.fr/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1406015139000&locale=fr_FR&assetType=MMM_Image&assetId=1361808249127&blobAttribute=ImageFile

17. GALLETTI-SCHWEITZ C, GARCIA R.
Orthodontie linguale une technique d'avenir.
Inf Dent. 2004;86(32):2043–51.

18. BINDL A, MÖRMANN WH.
Clinical Evaluation of Adhesively Placed Cerec Endo-Crowns after 2 Years - Preliminary Results.
J Adhes Dent. 1999;1(3):255–65.

19. SCHLICHTING LH, SCHLICHTING KK, STANLEY K, MAGNE M, MAGNE P.
An approach to biomimetics: the natural CAD/CAM restoration: a clinical report.
J Prosthet Dent. 2014;111(2):107–15.

20. CALAS-BENNASAR I, RAYNAL J, FAGES M, BENNASAR B.
Préservation du parodonte, impact innovant du tout céramique au numérique.
Strat Prothétique. 2014;14(1):17–24.

21. ZARONE F, SORRENTINO R, APICELLA D, VALENTINO B, FERRARI M, AVERSA R, et al.
Evaluation of the biomechanical behavior of maxillary central incisors restored by means of endocrowns compared to a natural tooth: A 3D static linear finite elements analysis.
Dent Mater. 2006;22(11):1035–44.

22. BINDL A, RICHTER B, MÖRMANN WH.
Survival of Ceramic Computer-aided Design/Manufacturing Crowns Bonded to Preparations with Reduced Macroretention Geometry.
Int J Prosthodont. 2005;18(3):219–24.

23. WILLIAMS RJ, BIBB R, EGGBEER D, COLLIS J.
Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework.
J Prosthet Dent. 2006;96(2):96–9.

24. JOULLIE K, JULIA M, DURAND J, NUBLAT C.
Prothèse amovible partielle à infrastructure métallique : conception du chassis par CAO.
Strat Prothétique. 2011;11(1):37–46.

25. JOULLIE K, JULIA M, NUBLAT C.
Prothèse amovible partielle : fabrication du chassis par FAO.
Strat Prothétique. 2011;11(2):97–106.

26. SIRIEX C.
La CFAO en prothèse complète amovible.
Technol Dent. 2014;(326):10–21.

27. GÜTH J-F, KEUL C, STIMMELMAYR M, BEUER F, EDELHOFF D.
Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing.
Clin Oral Investig. 2013;17(4):1201–8.

28. SCHAEFER O, DECKER M, WITTSTOCK F, KUEPPER H, GUENTSCH A.
Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro.
J Dent. 2014;42(6):677–83.

29. BRAWEK PK, WOLFART S, ENDRES L, KIRSTEN A, REICH S.
The clinical accuracy of single crowns exclusively fabricated by digital workflow--the comparison of two systems.
Clin Oral Investig. 2013;17(9):2119–25.

30. ENDER A, MEHL A.
Conventional versus digital impressions - an in-vitro study.
Int J Comput Dent. 2011;14(1):11–21.

31. CHRISTENSEN GJ.
Will digital impressions eliminate the current problems with conventional impressions?
J Am Dent Assoc. 2008;139(6):761–3.

32. PATZELT SBM, LAMPRINOS C, STAMPF S, ATT W.
The time efficiency of intraoral scanners.
J Am Dent Assoc. 2014;145(6):542–51.

33. GHRENASSIA C, GUYONNET J-J, AUTHER A, LUCAS S.
Satisfaction des praticiens.
Cah Prothèse. 2008;(141):65-72

34. MCLAREN EA, CULP L, WHITE S.
The evolution of digital dentistry and the digital dental team.
Dent Today. 2008;27(9):112, 114:116–7.

35. NAKAMURA T, DEI N, KOJIMA T, WAKABAYASHI K.
Marginal and internal fit of Cerec 3 CAD/CAM all-ceramic crowns.
Int J Prosthodont. 2003;16(3):244–8.

36. DENISSEN H, DOZIĆ A, VAN DER ZEL J, VAN WAAS M.
Marginal fit and short-term clinical performance of porcelain-veneered CICERO, CEREC, and Procera onlays.
J Prosthet Dent. 2000;84(5):506–13.

37. ATT W, KOMINE F, GERDS T, STRUB JR.
Marginal adaptation of three different zirconium dioxide three-unit fixed dental prostheses.
J Prosthet Dent. 2009;101(4):239–47.

38. 3M ESPE.
LavaTM Chairside Oral Scanner C.O.S. and the digital workflow [en ligne]. 2009 [consulté le 4 octobre 2014]. Disponible : http://multimedia.3m.com/mws/media/632323O/lava-cos-technical-data-sheet.pdf

39. RENNE W, MCGILL ST, FORSHEE KV, DEFEE MR, MENNITO AS.
Predicting marginal fit of CAD/CAM crowns based on the presence or absence of common preparation errors.
J Prosthet Dent. 2012;108(5):310–5.

40. MOLIN MK, KARLSSON SL.
A randomized 5-year clinical evaluation of 3 ceramic inlay systems.
Int J Prosthodont. 2000;13(3):194–200.

41. THORDRUP M, ISIDOR F, HÖRSTED-BINDSLEV P.
A prospective clinical study of indirect and direct composite and ceramic inlays: ten-year results.
Quintessence Int. 2006;37(2):139–44.

42. BINDL A, MÖRMANN WH.
Clinical and SEM evaluation of all-ceramic chair-side CAD/CAM-generated partial crowns.
Eur J Oral Sci. 2003;111(2):163–9.

43. LEE SJ, GALLUCCI GO.
Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes.
Clin Oral Implants Res. 2013;24(1):111–5.

44. VAN DER MEER WJ, ANDRIESSEN FS, WISMEIJER D, REN Y.
Application of Intra-Oral Dental Scanners in the Digital Workflow of Implantology.
PLoS ONE. 2012;7(8):e43312.

45. SEELBACH P, BRUECKEL C, WÖSTMANN B.
Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow.
Clin Oral Investig. 2013;17(7):1759–64.

46. PATZELT S, EMMANOUILIDI A, STAMPF S, STRUB J, ATT W.
Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners.
Clin Oral Investig. 2014;18(6):1687–94.

47. NEDELCU RG, PERSSON ASK.
Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis.
J Prosthet Dent. 2014;112(6):1461-71.

48. ENDER A, MEHL A.
In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions.
Quintessence Int. 2015;46(1):9–17.

49. BOEDDINGHAUS M, BRELOER E, REHMANN P, WÖSTMANN B.
Accuracy of single-tooth restorations based on intraoral digital and conventional impressions in patients.
Clin Oral Investig. 2015;19(8):2027–34.

50. TAPIE L, LEBON N, ATTAL J.
La chaine numérique en CFAO dentaire en prothèse conjointe : structuration de la chaine de production.
Réal Clin. 2015;26(4):263-273.

Table des matières:

Table des figures **16**

Table des tableaux **18**

Introduction : **19**

1. Description et présentation des différentes technologies : (1)(2) *21*

1.1 Triangulation 22

1.1.1 Triangulation avec projection de lumière structurée (CEREC BLUECAM (Sirona)) 23

1.1.2 Triangulation avec projection laser (IOS FastScan) 26

1.2 Imagerie confocale parallèle 27

1.2.1 Imagerie confocale parallèle statique : iTero 1 (Cadent 2009-2011) 28

1.2.2 Imagerie confocale parallèle dynamique : iTéro 2 (Cadent/Align 2011), 3Shape TRIOS, Cerec Omnicam (Sirona) 29

1.3 Active Wave Front Sampling ou Défocalisation : LAVA C.O.S. (3M ESPE) 29

2. Description des principales caméras intra-orales *31*

2.1 Cerec Bluecam (SIRONA)(7) 31

2.2 Cerec Omnicam (SIRONA) 33

2.3 Cerec Apollo DI (SIRONA) 34

2.4 LAVA COS (3M ESPE) (8)(9) 35

2.5 3M ™ True definition Scanner 38

2.6 ITéro 1 et 2 (CADENT/STRAUMANN – CADENT/Align)(7) 38

2.7 Itéro Element 40

2.8 TRIOS® (3Shape) 40

2.9 Carestream CS3500 43

2.10 Dental Wings 44

2.11 Condorscan de Biotech™ 45

2.12 Lythos de Kavo™ 46

2.13 IOS Aadva de GC™ 47

2.14 Planscan® de Planmeca™ 48

3. Différents domaines d'application *49*

3.1 Implantologie avec les caméras Sirona 49

3.1.1 Planification implantaire (13) 49

3.1.2 Enregistrement de la position de l'implant 52
3.1.3 Enregistrement du pilier et réalisation d'une couronne 53
3.2 Implantologie avec le LAVA cos (1) 55
3.3 Orthodontie 55
3.3.1 Caméra ITéro® 55
3.3.2 Caméra Trios de 3SHAPE(15) : 56
3.3.3 3M TRUE définition Scanner (16,17) 57
3.3.4 Omnicam 58
3.4 Prothèse Fixée 59
3.4.1 Inlay / onlay 59
3.4.2 Overlay/ Vprep 59
3.4.3 Endocouronne (18)(19,20) 60
3.3.4 Couleur ..... **Erreur ! Signet non défini.**
3.5 Prothèse amovible (23–26) 62
4. Avantages des systèmes d'empreinte optique 65
4.1 Précision de l'enregistrement (27)(28)(29)(30) 65
4.2 Enregistrement des limites périphériques : (31) 65
4.3 Validation automatique de l'empreinte : 66
4.4 Gain de temps 66
4.5 Empreinte optique inaltérable 70
4.6 Transmission au prothésiste 70
4.7 Confort du patient et intérêt dans la communication 70
4.8 Ouverture des formats de prise d'empreinte 71
4.9 Adaptation marginale 73
4.10 Longévité 74
4.11 Manipulation / Apprentissage (43) 76
5. Inconvénients : 77
5.1 Coût actuel : 77
5.2 Courbe du temps d'apprentissage : 78
5.3 Taille des caméras : 79
5.4 Evolution technologique : 81
5.5 L'enregistrement des limites : 82
6. Comparaison des différentes caméras optiques : 83
6.1 Etude in vitro de ENDER de 2011 83

6.2 Etude in vitro de Vat der Meer d'aout 2012 83
6.3 Etude in vitro de Seelbach de septembre 2013 85
6.4 Etude in vitro de Patzelt de novembre 2013 87
6.5 Etude in vivo de Brawel de décembre 2013 89
6.6 Etude in vitro de Schaefer de juin 2014 91
6.7 Etude in vitro de Nedelcu de décembre 2014 92
6.8 Etude in vitro de Ender de janvier 2015 95
6.9 Etude in vivo de Boeddinghaus de novembre 2015 97
7. Discussion ; L'empreinte optique a-t-elle sa place dans un cabinet dentaire d'omni-pratique ? *100*
7.1 Les besoins. 102
7.2 Les différentes présentations 103
7.3 Poudrage et couleurs. 104
7.4 Taille de la caméra et de l'embout. 104
7.5 La précision. 105
7.6 Inlay-core 106
7.7 Implantologie et Orthodontie 107
7.8 Format d'enregistrement. 108
7.9 Evolution vers CFAO directe 109
7.10 Les tarifs. 110
7.11 Tableau récapitulatif 112
Conclusion : 113
Bibliographie 115
Table des matières 122

DELAUNAY Bruno - Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens dentistes dans leurs cabinets en 2015

Nancy : 2016 – 124 pages – 76 figures – 15 tableaux.

Thèse : Chir.-Dent. : Nancy 2016

Mots-clés:

- Caméra optique
- Empreinte numérique
- Prothèse fixée, amovible, implantologie, orthodontie
- Omnicam, Bluecam, Trios, True-Def, Carestream, Itéro, Planscann, DentalWing, Lythos

Résumé : DELAUNAY Bruno - Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens dentistes dans leurs cabinets en 2015

Thèse : Chir.-Dent. : Nancy 2016

Depuis son invention par le Pr François DURET en 1973, l'empreinte optique n'a cessé d'évoluer. Les caméras ont vu leur technologie rapidement évoluer pour améliorer leur précision, faciliter leur utilisation et réduire leurs dimensions. Ce travail a pour but d'éclairer le chirurgien-dentiste sur les différences entre les caméras actuellement disponibles sur le marché, en détaillant leur fonctionnement, leurs différents domaines d'utilisation, tels que la prothèse unitaire, plurale, amovible ou encore l'implantologie ou l'orthodontie.

Nous verrons ensuite si l'empreinte optique est prête pour équiper les cabinets dentaires et compléter ainsi la chaine prothétique numérique.

Examinateurs de la thèse :

Pr J-M. MARTRETTE :	Professeur des Universités	Président
Dr J. PENAUD :	Maitre de conférences des Universités	Directeur
Dr J. SCHOUVER :	Maitre de conférences des Universités	Co-Directeur
Dr P. CORNE :	Assistante Hospitalo-Universitaire	Juge

Adresse de l'auteur :

Bruno DELAUNAY
43 rue du chemin blanc
54000 NANCY
France

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Faculté d'Odontologie

Jury : Président : J.M MARTRETTE– Professeur des Universités
Juges : J. PENAUD– Maître de Conférence des Universités
J. SCHOUVER – Maître de Conférence des Universités
P. CORNE– Assistante Hospitalier Universitaire

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: **Monsieur DELAUNAY Bruno, Didier, Jacques**

né(e) à: **NANCY (Meurthe-et-Moselle)** le **3 avril 1987**

et ayant pour titre : **« Comparaison des systèmes d'empreintes optiques accessibles aux chirurgiens-dentistes dans leurs cabinets en 2015 ».**

Le Président du jury

J.M. MARTRETTE

Le Doyen,
de la Faculté d'Odontologie

FACULTE D'ODONTOLOGIE UNIVERSITE DE LORRAINE

J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 9050

NANCY, le 21 JAN. 2015

Le Président de l'Université de Lorraine

P. MUTZENHARDT

Pour le Président et par délégation
La Directrice Générale des Services Adjointe

Edwige HELMER-LAURENT