

La dentisterie numérique

TOUT SIMPLEMENT

Thomas Sastre

avec la participation de :

Stéphane Alric, Xavier Chapuis, Christian Claverie, Gérard Duminil,
Denis Elkaïm, Olivier Etienne, Thomas Fortin, Christelle Giacomelli,
Laïla Hitmi, Maxime Jaisson, Dino Li, Philippe Mariani,
Christian Moussally, Jacky Pennard

id
IMPRIMERIE ÉDITIONS MEDIA



Préface

Jonathan L. Ferencz

D.D.S., F.A.C.P.

Diplomate, American Board of Prosthodontics

Clinical Professor of Prosthodontics,

New York University College of Dentistry

La dentisterie numérique est passée d'un projet technique novateur, promu avec enthousiasme par un petit groupe de chirurgiens-dentistes pionniers, à un sujet courant soutenu par les chirurgiens-dentistes et les prothésistes du monde entier. Malgré l'attrait qu'elle exerce sur l'industrie des laboratoires, qui bénéficie d'une rentabilité et d'une cohérence accrues, et sur les patients, qui jouissent d'un confort optimisé et d'une plus grande rapidité des soins dentaires, de nombreux praticiens hésitent à adopter cette technologie innovante. Il existe de nombreuses explications à la lenteur de l'adoption de la dentisterie numérique par les cliniciens en exercice. Parmi elles, citons le coût, l'appréhension face à l'intégration de nouveaux protocoles, la courbe d'apprentissage abrupte et les préoccupations concernant la motivation du personnel.

Je connais le Docteur Thomas Sastre depuis plusieurs années. Cet ouvrage sur *La dentisterie numérique Tout Simple*ment qu'il a coordonné répond aux besoins des prothésistes et des chirurgiens-dentistes. Avec plus d'une douzaine d'experts du domaine, il a élaboré un recueil destiné à ceux désireux de commencer ou de poursuivre leur voyage dans la maîtrise de la dentisterie numérique. L'introduction couvre l'histoire de la CFAO en commençant par un autre célèbre dentiste français, le Professeur François Duret, père de la CFAO. Des sujets d'actualité, tels que la dentisterie numérique en cabinet, abordent l'utilisation du scanner intra-oral et la fabrication en cabinet dans un style clair et facile à suivre. L'ouvrage comporte également un chapitre sur les prothèses partielles amovibles numériques et un autre sur l'occlusion. Le Docteur Sastre, expert en dentisterie implantaire, est responsable du chapitre sur l'implantologie numérique, qui couvre la planification numérique du traitement, la chirurgie guidée, la mise en charge immédiate, la conception et la fabrication des restaurations. L'orthodontie numérique est également traitée, allant des gouttières aux aides numériques précises pour le collage des appareils.

Le Docteur Sastre et son équipe de coauteurs méritent d'être félicités pour leurs efforts visant à simplifier le domaine de la dentisterie numérique. Dans un environnement qui peut être très intimidant pour le novice, il faut un véritable expert pour simplifier et présenter ce matériel dans un style qui ne soit pas intimidant. Lui et ses collaborateurs méritent d'être félicités!

PARTIE 1

L'HISTOIRE DE LA CFAO

Jacky Pennard

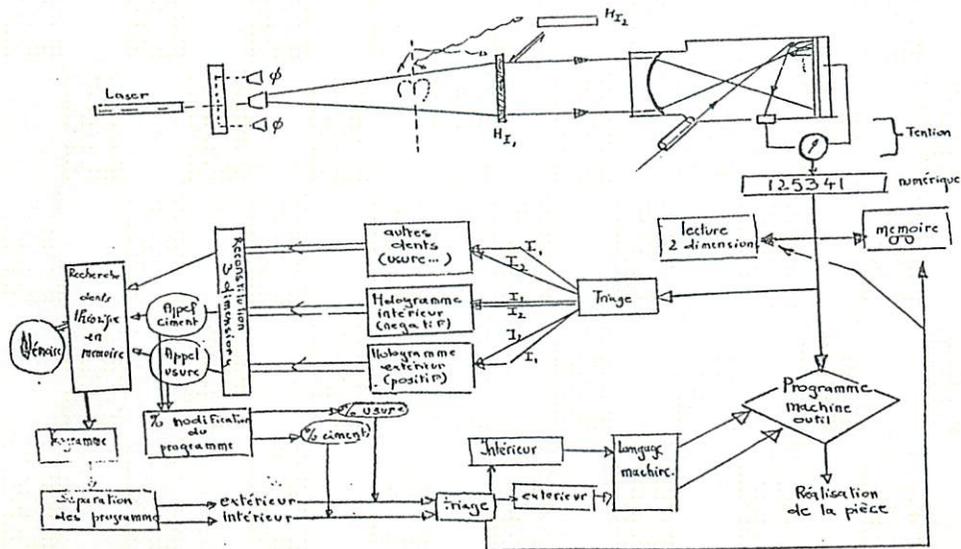
Au XVIII^e siècle apparaît avec Pierre Fauchard (1679-1761) la première prothèse dentaire. Précurseur de l'art dentaire, ce chirurgien-dentiste utilise pour cela des dents humaines. Avec Taggart, en 1907, une nouvelle étape est franchie avec la confection de couronnes métalliques par cire perdue. La maîtrise de la coulée des métaux avec le développement des revêtements réfractaires dans les années 1970 permet ensuite l'évolution vers les couronnes céramo-métalliques. Mais la véritable révolution survient en 1973 avec François Duret. Cette révolution, c'est la CFAO, la Conception Fabrication Assistée par Ordinateur [1].

Origine de l'empreinte optique

En 1969, François Duret découvre l'efficacité du sonar dans le cadre de la recherche des bancs de sardines par les bateaux de pêche. Puis, en 1970, il compare des études sur le laser à rubis et l'holographie menées par le Professeur J. Dumas avec la technique des empreintes au stens réalisées à l'aide d'une casserole d'eau bouillante à la faculté de Lyon. François Duret observe que la précision des empreintes avec les matériaux conventionnels est imprévisible, ainsi que l'exécution au laboratoire, ce qui génère des erreurs. Pour lui, la seule solution pour éviter cet écueil est de réaliser une prothèse grâce à une chaîne numérique, composée de l'empreinte optique, de la modélisation 3D et de la machine-outil à commande numérique.

La CFAO de François Duret voit le jour en France entre 1970 et 1973. Il est alors étudiant en chirurgie dentaire à la faculté de Lyon, et prépare sa thèse sur « l'empreinte optique », ainsi qu'une licence à la faculté des Sciences. Les professeurs Dumas et Marty apportent leur soutien à ses travaux. Cette thèse pose le point de départ de la CFAO [2-4] (fig. 1 et 2).

1. Schéma de la chaîne de CFAO complète imaginée par le Docteur François Duret dans sa thèse « L'empreinte optique » en 1974. (Courtoisie : Dr François Duret)



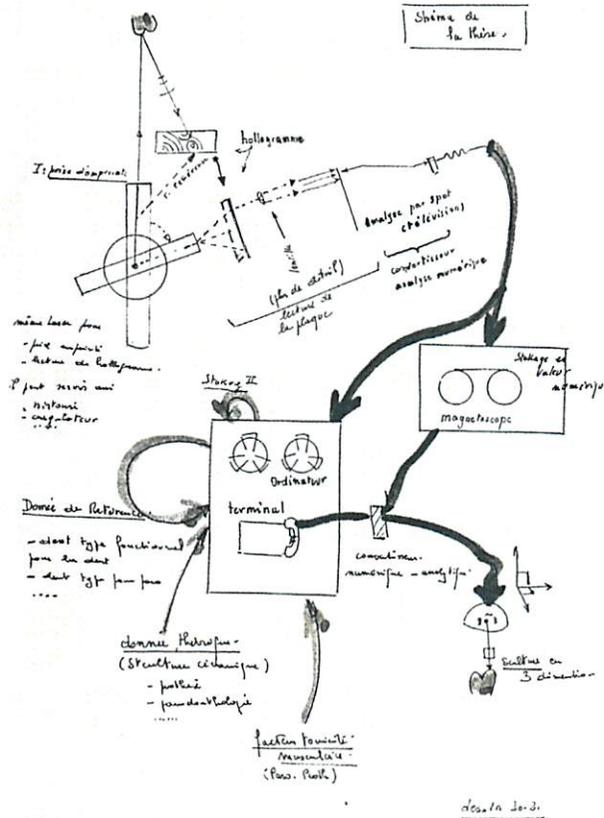
© Programme de commande de machine outil

Préc-
c Tag-
es par
réfrac-
tiques.
est la

re des
sur le
re des
Lyon.
onnels
lui, la
numé-
outil à

udiant
ique »,
ortent
1 et 2).

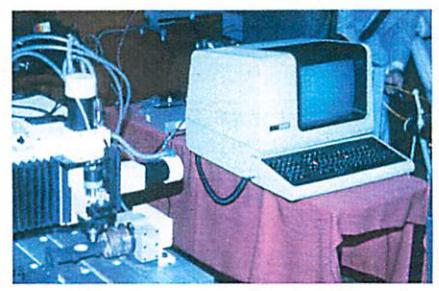
Testation
asymétrique
moire
70



2. Programme de commande de machines-outils proposé par le Docteur François Duret dans sa thèse « L’empreinte optique » en 1974. (Courtoisie : Dr François Duret)

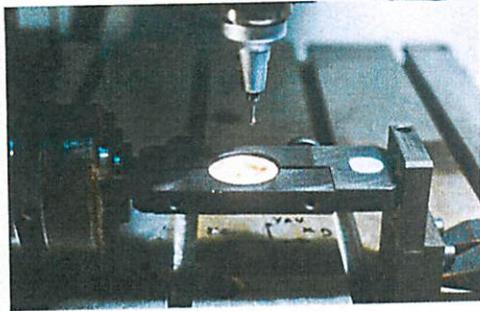
Historique des essais et invention de la CFAO dentaire

Les années 1975 à 1985 marquent la première époque pour l'équipe de François Duret, qui opte pour une forme d'holographie interférométrique macroscopique. Dès 1980, des présentations et essais techniques sont réalisés en France, avec l'aide de Thomson CSF, de la société Fort et de Matra Optique, dans le but de créer la première caméra. Puis, avec la société Bertin, il crée une structure de recherche et de développement qui deviendra la Société Henson. L'évolution de cette association conduit à la démonstration de la première caméra optique au monde par François Duret, Jacques Dumas et Joseph Thouvenot. Cela se déroule à Paris lors des « Entretiens de Garancière » en 1983. Le logiciel de CFAO utilisé est Euclid, de la société Matra Datavision [5] (fig. 3).



3. Présentation du premier usinage d'une couronne à l'ADF en 1985. (Courtoisie : Dr François Duret)

En 1985, lors du congrès de l'Association Dentaire Française (ADF), la première couronne dentaire postérieure réalisée en CFAO et posée en direct sur une patiente est construite sous toutes les faces, internes et externes. L'usinage de la couronne composite est finalisé après 15 minutes et l'ensemble des opérations se déroule en moins d'une heure. Cette première démonstration mondiale est réalisée par François Duret, Jean-Pierre Hennequin et Jean-Louis Blouin, avec la Société Hensson (fig. 4 à 6).



4 et 5. Lors du congrès de l'ADF en 1985, présentation de la première couronne dentaire postérieure réalisée en CFAO et posée en direct. À gauche: fraise en fin d'usinage, à droite: couronne finie en place. (Courtoisie: Dr François Duret)



6. Système CFAO Hensson pour laboratoire proposé en 1987. (Courtoisie: Dr François Duret)

Pendant ce temps comment évoluent les recherches dans le monde ?

Pendant les années 1980, d'autres pays et chercheurs s'intéressent à ce domaine, comme Matts Anderson, en Suède, avec le système Procera (fig. 7).

À cette période, les États-Unis (Altschuler et Swinson) et le Japon (Mori) sont les seuls pays où des projets voient le jour pour fabriquer des prothèses par informatique. Mais les techniques utilisées ne permettent pas d'aboutir à des réalisations concrètes et restent à l'état d'hypothèses de travail. En revanche, au Japon, l'équipe d'Aoki, Fujita et Yushihama, sous le contrôle de Tsutsumi, permet une avancée de la CFAO dans certains secteurs d'activité, comme l'usinage des



7. Palpeur Piccolo Procera. (Source medwow.com)

Principes de fonctionnement de la CFAO

La CFAO repose sur trois éléments.

- **Un système de mesure: le scanner** a pour fonction de numériser la dent ou l'arcade afin que ses informations volumiques soient introduites et traitées par un ordinateur. Après l'utilisation de palpeurs mécaniques (25 ans), désormais seules les sources lumineuses sont employées.
- **Un système de CAO: la conception assistée par ordinateur** permet de rendre visible l'empreinte, de la matérialiser et de modéliser la future prothèse. Les logiciels sont adaptés aux différents types de prothèse à concevoir. Cela offre aussi la possibilité d'analyser, avant toute intervention, et de proposer aux patients une démarche esthétique, de planifier des implants.
- **Un système de FAO: pour la fabrication assistée par ordinateur**, toutes les tailles de machines sont proposées par les industriels, pouvant produire par soustraction ou par addition. La précision des machines est variable ainsi que la rapidité d'exécution. La production peut être réalisée sur le lieu de modélisation ou confiée à un centre d'usinage.

Fonctionnement de l'empreinte optique dentaire et des scanners de table

La première caméra endobuccale est celle de François Duret. Son fonctionnement repose sur la projection de rayons lumineux sur la préparation. La réception ou mesure des mouvements des rayons permet de reconstituer l'image de la dent. L'ensemble se compose d'un projecteur d'onde (laser) et d'une caméra numérisant le volume [10]. Les premiers schémas de caméra optique de François Duret utilisent le principe de l'hologramme (1973), précisant que cette méthode est difficile à appliquer au secteur dentaire, son choix du rayon lumineux se portera sur l'interférométrie.

Scanners intra-oraux et de laboratoire de prothèse (scanner de table)

Ils utilisent plusieurs technologies.

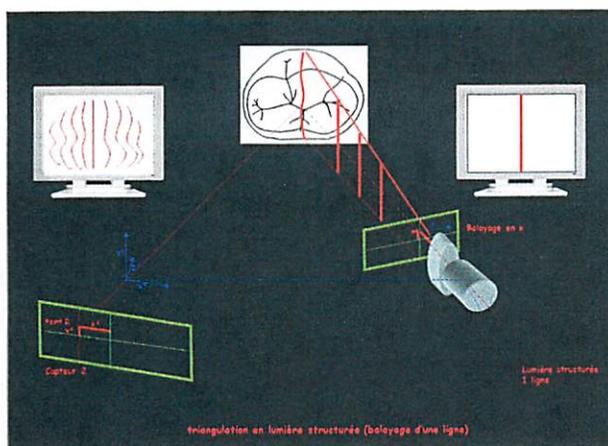
- Le point à point, qui consiste à suivre le déplacement d'un point. Cette méthode est comparable au micropalpage. Le modèle est fixé pendant la lecture et prend du temps.
- Le ligne par ligne: il s'agit d'un perfectionnement de la première méthode, en prenant un ensemble de points situés sur une même droite. Le calcul est plus rapide mais complexe (fig. 14).
- La méthode matricielle, qui consiste à projeter à la volée un ensemble de lignes. Cette technique est divisée en deux techniques.

La première est de projeter des lignes d'épaisseur variable ou de couleurs différentes (lumière blanche), ce qui permet de différencier la profondeur de l'image. Aujourd'hui, la plupart des systèmes utilisent cette méthode. La prise de vue prend d'une à cinq secondes (fig. 15).

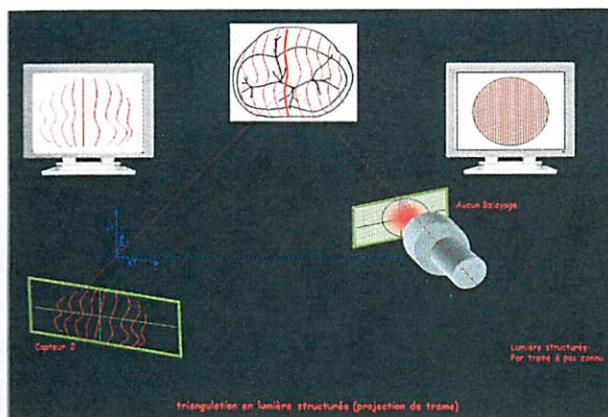
La deuxième technique, plus complexe, est basée sur l'analyse des phases, les ondulations de la lumière (moirée électronique). Cette méthode n'est pas influencée par la couleur de l'objet mesuré: scanners à franges (fig. 16).

La mesure est très rapide, moins d'une seconde, et particulièrement adaptée à l'empreinte endobuccale (première utilisation en 1983).

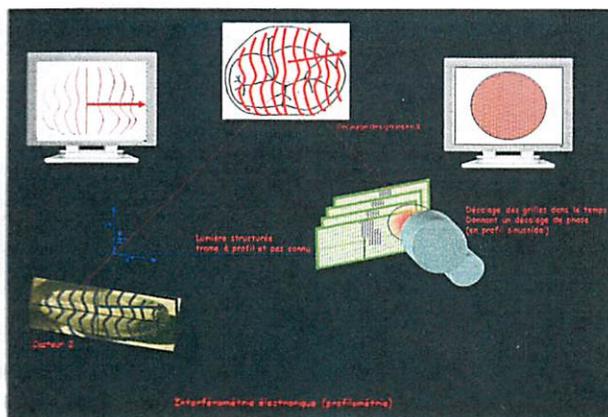
Les caméras intra-orales utilisent des technologies différentes concernant le type de source de rayonnement, la méthode d'acquisition, la réception sur ordinateur et la transmission des informations.



14. Triangulation: balayage d'une ligne.
(Courtoisie: Dr François Duret)

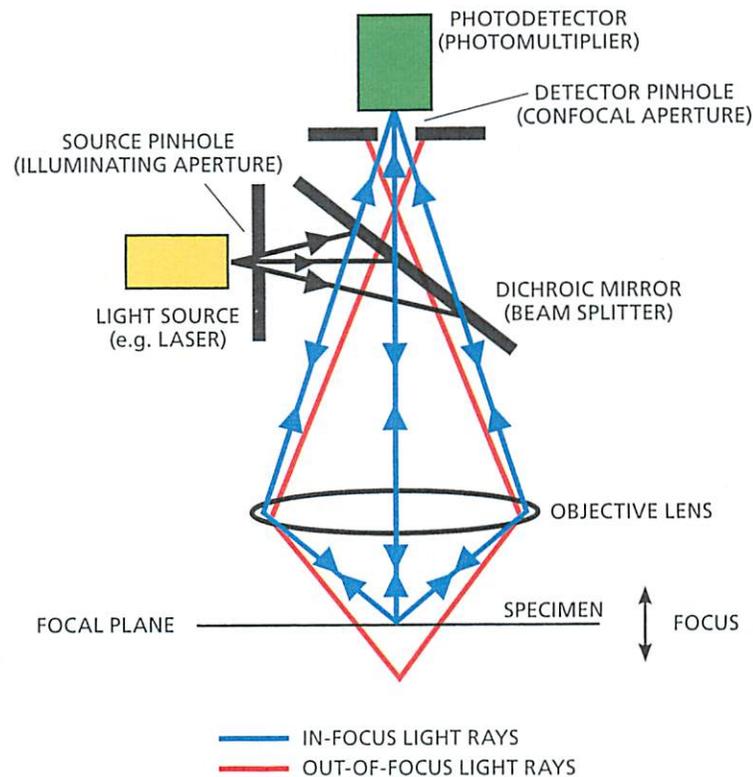


15. Triangulation par projection de trame ou de grille à pas variable.
(Courtoisie: Dr François Duret)



16. Interférométrie électronique par décalage de phases.
(Courtoisie: Dr François Duret)

- La microscopie confocale (issue des méthodes conoscopiques) s'est récemment imposée comme moyen d'investigation volumique : cette technique consiste à observer l'objet à enregistrer à travers un objectif tout en faisant varier la distance focale. Les rayons réfléchis lumière structurée, émis par un laser, sont filtrés en fonction de leurs longueurs d'onde (lumière polychromatique). La profondeur de champ est améliorée. La distance à l'objet correspond à la distance focale pour laquelle l'objet apparaît le plus net. Les systèmes utilisant cette méthode sont : 3Shape Trios, Sirona Primescan [11-13] (fig. 19).



19. Principe de la microscopie confocale. (d'après L. Ladic ImagoSeine, Institut J. Monod)

Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

Le principe de la CAO est le suivant : le logiciel reçoit l'empreinte de la préparation, soit en format de logiciel fermé, soit en format ouvert (STL). Son but est de modéliser la future prothèse grâce à un logiciel de CAO, en tenant compte des fondamentaux de la construction prothétique. Cette conception peut être effectuée au cabinet, au laboratoire de prothèse ou dans un centre de production. L'ouverture des fichiers impose l'achat d'un logiciel spécifique pour chaque type de prothèse et le renouvellement d'une licence (selon les systèmes, l'évolution est payante) (fig. 20).

Aujourd'hui, la majorité des scanners de laboratoire utilisent un concept à 5 axes, ce qui améliore la précision. La plupart des scanners utilisent des lasers à lumière bleue (structurée), lumière LED. Les caméras (jusqu'à 4) du scanner enregistrent la distorsion sous plusieurs angles, le logiciel calcule en utilisant la triangulation.

Technologies de prise de d'empreinte optique

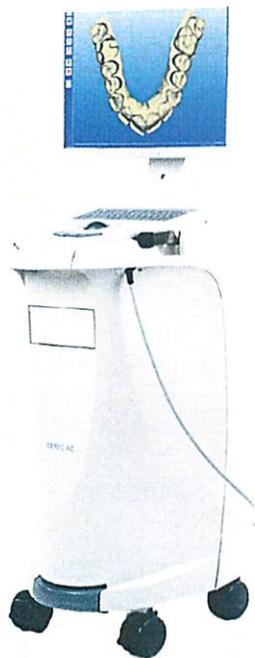
Trois techniques sont proposées.

- La triangulation: la dent, l'émetteur de la lumière qui est souvent structuré et le capteur forment un triangle. La lumière réfléchi est captée par le récepteur, la déformation de la lumière est mesurée. L'angle entre le faisceau incident et le faisceau réfléchi permet de déterminer la distance de l'objet. Les systèmes utilisant cette méthode sont : Cerec Omnicam, Cerec Bluecam, Apollo DI, Carestream CS3500 et 3600, Planmeca Planscan (fig. 17).

Si l'évolution tend vers des acquisitions sans poudrage préalable, certains systèmes requièrent encore l'application d'une fine poudre projetée sur les surfaces à scanner (Apollo DI, DWIO, 3M TDS, Cerec Bluecam). La présence de salive ou de sang perturbe aussi la lecture. Actuellement, les systèmes utilisent de la lumière fluorescente ou phosphorescente, ce qui élimine cette étape du poudrage et, en général, permet de restituer la couleur.

- La stéréoscopie dynamique: il s'agit du principe utilisé par le cinéma 3D. La lumière (LED) réfléchi est captée par deux récepteurs distants. On mesure la distance de l'objet par rapport aux deux récepteurs. En tournant autour de l'objet et en recalant les images, on obtient un volume en 3D. Les systèmes utilisant cette méthode sont : CondorScan de Biotech (F. Duret), DWIO de Dental Wings (fig. 18).

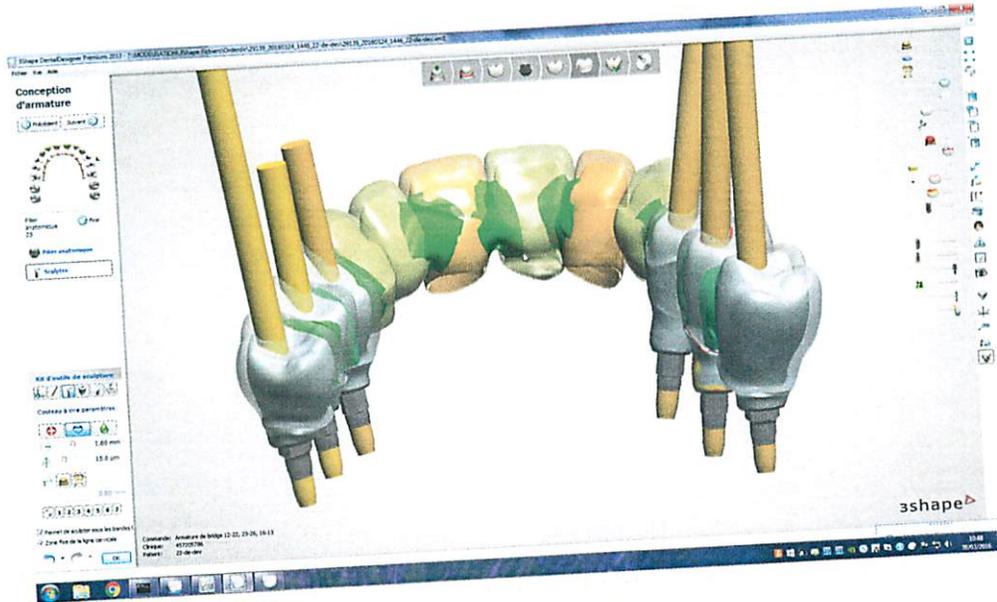
20



17. Cerec Bluecam.



18. Caméra Condor.

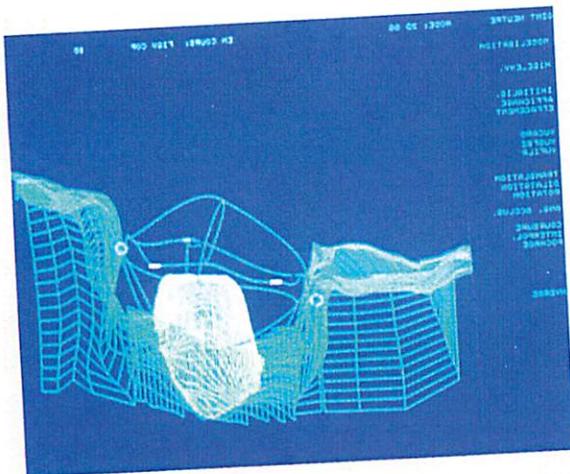


20. Logiciel de conception ouvert, 3Shape.

22

L'ouverture des systèmes avec les fichiers STL permet à l'utilisateur de choisir librement son mode de fabrication et les matériaux. Le fichier STL fait son apparition dans les années 2003-2005 avec les systèmes par addition en FAO (stéréolithographie). Les premiers systèmes ouverts alors leaders de logiciels étaient 3Shape et Dental Wings. Le mode fermé permettait à la société, d'imposer la fabrication dans son centre d'usinage, d'amortir son investissement sur ses recherches par la vente du consommable. Peu de fournisseurs proposent la FAO, sauf Cercon de Dentsply Degudent, Cerec de Sirona et Everest de Kavo (2002). Avant 2005, les systèmes étaient peu nombreux et le langage était propre à chaque développeur.

Les logiciels de CAO utilisent un noyau graphique de modélisation polygonale déjà utilisé par les premiers systèmes qui ont évolué vers des représentations de plus en plus proches de la réalité par des maillages très fins et en couleur (fig. 21).



21. Maille de la conception numérique : CAD, ADF
Hensson Euclid, Dr Duret, 1985.
(Courtoisie : Dr François Duret)

Les grands évènements de la CFAO

1990 à 2000

- 1992 : spectrocromimètre. Le Dr François Duret et la société Bertin reproduisent les teintes selon les teintiers de l'époque. Les résultats sont traduits dans le système L a b. ordinateur IBM type XT, écran couleur.
- 1992 : J. Gaillard et G. Jourda proposent un logiciel pour concevoir et analyser le châssis métallique, méthodologie clinique seulement (fabrication manuelle) [15].
- 1999 :
 - impression à jet de résine créée par Polyjet (2012), fusion des sociétés Objet et Stratasys,
 - Invisalign crée le premier logiciel orthodontique (États-Unis).
- 2000 :
 - Procera, barbotine en alumine fraisée dans centre d'usinage,
 - DCS Precident, scanner optique (scan du modèle, des dies individuels, l'ensemble est « matché », FAO centre d'usinage). Titane, In Ceram bloc, polyamide, zircone,
 - Cynovad PRO 50, CAO au laboratoire puis envoi au centre d'usinage. Tous alliages dentaires, zircone, disilicate de lithium, full céramique, inlay-onlay, bridge 4 éléments.

2001 à 2010

- 2001 :
 - à Cologne, Cynovad présente le Shade Scan System, 3 années d'existence. Topographie de la teinte, de saturation, de luminosité [16],
 - X-Rite USA: le Shade-rite système de prise teinte, données transmises par e-mail,
 - Metalor: le Ikam prise de teinte basée sur l'enregistrement d'échantillons céramique cuits au laboratoire,
 - Degussa système Cercon d'après CAO sur maquette réalisée en cire, usinage au laboratoire, zircone (maximum 4 éléments) (fig. 26),
 - création de 3Shape, développeur et fabricant de scanners 3D, logiciels de CAO/FAO.



26. Cercon brain, conception de bridge zircone. Degudent, Jaypeedigital.com. J. Manappallil 2010.

Bibliographie

1. Alberge M. Retour vers le futur. Mémoire CPES Céramique et Occlusion 2010.
2. Duret. 9 novembre 2010 www.francois-duret.com. 2010.
3. Brun H. La prothèse à travers l'évolution de l'humanité. Mémoire CPES Céramique et Occlusion, 2015.
4. Duret F. Histoire et résumé sur ma thèse « empreinte optique » Ou « quelques réflexions sur 3 ans de travail sur la CFAO dentaire entre Noël 1970 et Noël 1973 » (Dental French DDS) Web site Duret.
5. Duret F. Les premiers pas des scanners intrabuccaux de 1970 à 2000. *Technologie Dentaire*, 2017 ; 367 : 46-52.
6. Duret F. La révolution cad/cam. *Technologie Dentaire* 2003 ; 200 : 5-7.
7. Duret F, Blouin JL, Nahmani L. Principe de fonctionnement et applications techniques de l'empreinte optique dans l'exercice du cabinet. *Les Cahiers de Prothèse* 1985 ; 50 : 73-110.
8. Busson B. Histoire de l'impression, *Technologie Dentaire* 2016 ; 355/356 : 47-52.
9. Guiot JB, Wurtz R. Système DCS Precident : fraiser ou meuler des infrastructures. *Technologie Dentaire* 2000 ; ??x : 95-7.
10. Duret F. Vers un nouveau symbolisme pour la réalisation de nos pièces prothétiques. *Les Cahiers de Prothèse* 1985 ; 50 : 65.
11. Duret F, Pélissier B. Les nouvelles technologies IOS des caméras intra-orales. *Technologie Dentaire* 2019 ; 390 : 15-22.
12. Arcaute B, Nasr K. CFAO au cabinet dentaire : le matériel disponible en 2017. Disponible sur www.lefildentaire.com
13. Maillard A. Acquisition numérique, CFAO dentaire, origines, évolutions et perspectives. Thèse d'exercice en chirurgie dentaire, 2018, Université Toulouse III Paul Sabatier.
14. Zéboulon S. Les modèles SLA. *Stratégie Prothétique* 2010 ; 5 : 363-8.
15. Jourda J, Gaillard G. Conception assistée par ordinateur en prothèse. *Les Cahiers de Prothèse* 1992 ; 80 : 66-73.
16. Raigrodski AJ, Chiche GJ, Aoshima H, Spiekerman CF. Efficacy of a computerized shade selection system in matching the shade of anterior metal-ceramic crowns--a pilot study. *Quintessence Int* 2006 ; 37(10) : 793-802.
17. Strietzel R. Fusión selectiva por láser para el procesamiento de polvo de aleación dental. *Quintessence Técnica* 2010 ; 21(5) : 291-304.
18. Montenero J. Le carving. *Technologie Dentaire* 2017 ; 361 : 36-8.
19. Sireix C, Faure F. Lucy : Quand l'intelligence artificielle révolutionne la réalisation prothétique. *Stratégie prothétique* 2018 ; 18 (5) : 285-392.
20. Abdelaziz M, Krejci I. DIAGNOcam - a Near Infrared Digital Imagine Transillumination (NIDIT) technology. *Int J Esthet Dent* 2015 ; 10(1) : 158-65.