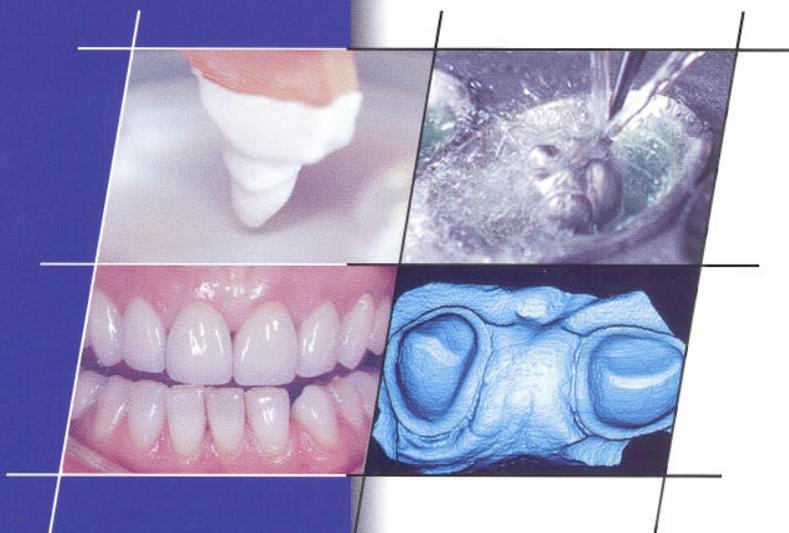


Stratégie prothétique

Les thérapeutiques cabinet - laboratoire



INNOVATION ZIRCON ET CFAO (TOME I)

- **La CFAO dentaire**
F. UNGER
- Les différentes méthodes de prise
d'empreintes pour la CFAO
F. DURET et B. PELISSIER
- **Quelle zircone** pour quelle prothèse
dentaire ?
A. LEBRAS
- Usinage des prothèses par **fraiseuse
numérique à cinq axes**
A. BODENMILLER
- **Apport du système CEREC inLab®**
à la réalisation de prothèses fixées
unitaires et plurales
X. DANIEL

Novembre 2003 - vol 3

N° 5



Innovation, zircone et CFAO

Chacun choisit la dentisterie qu'il exerce. C'est aussi le rôle de notre revue de vous aider dans ce choix. Et s'il est un domaine prothétique qui est en complète rénovation, c'est bien celui des infrastructures de prothèse fixée. Il est possible aujourd'hui de remplacer dans de parfaites conditions de sécurité les armatures métalliques de pratiquement tous les éléments unitaires par des armatures en céramique. On sait qu'il en est de même pour la plupart des bridges, depuis l'avènement des nouvelles zircones et de la CFAO ; à l'exception, il est vrai, de quelques cas pour lesquels une trop faible hauteur des piliers impose des connexions métalliques pour un résultat esthétique optimal.

En 2003, les progrès techniques et logiciels, associés à la biocompatibilité des matériaux et au recul clinique, font que l'on peut affirmer que l'avenir est aux infrastructures de prothèses fixées en céramique (dentaires et implantaires). Les prothésistes dentaires le savent aussi bien que les chercheurs les chirurgiens-dentistes ou les pouvoirs publics. Mais, malgré les progrès constants du nombre d'éléments céramo-céramiques commandés dans les laboratoires, la majorité des prothèses fixées fabriquées restent métal-céramiques. Et pourtant, il suffirait de pas grand chose... disent certains praticiens : que la sécurité sociale prenne en charge les prothèses céramo-céramiques au même titre que les prothèses métal-céramiques ! Chacun choisit la dentisterie qu'il exerce et nul n'est besoin de faire porter à la sécurité sociale un chapeau qu'elle ne cherche pas à porter.

A-t-on lu qu'un confrère qui cotait SPR50 une couronne céramo-céramique ait été condamné ? Pourquoi les organismes sociaux iraient-ils se fourvoyer dans une

démarche répressive alors qu'ils savent parfaitement que l'arrivée de la prothèse céramo-céramique se fera, pour eux, à frais constants ?

Pour notre part les choix sont faits et il nous a semblé important de soutenir les entreprises, les prothésistes dentaires et les chirurgiens-dentistes qui font l'effort d'investir dans l'innovation, la zircone et les systèmes CFAO. Nous publierons deux tomes de notre revue sur ce thème.

Dans le présent numéro, nous nous attacherons à présenter les données qui valent pour l'ensemble des systèmes CFAO : les matériels, les matériaux, les outils, les différentes options en termes de techniques. Ce tome comprend aussi un article de Xavier Daniel, d'illustrations cliniques des possibilités offertes par un système CFAO (le CEREC inLab® qu'il utilise) et un article d'avenir écrit par François Duret, sur les empreintes optiques.

Le second tome présentera plus précisément, et individuellement, les différents systèmes qui sont actuellement les plus présents sur le marché.

Ces deux numéros n'auraient pas pu être réalisés sans l'aide d'un grand nombre de prothésistes dentaires, d'ingénieurs ou de chirurgiens-dentistes impliqués dans cette évolution fondamentale vers une prothèse plus biologique. Qu'ils soient ici remerciés.

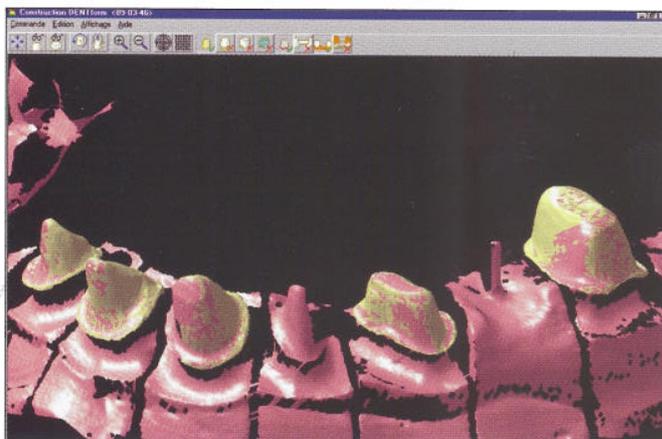
Qu'il me soit enfin permis de dédier ces deux numéros de Stratégie prothétique à François Duret initiateur visionnaire de cette dentisterie de l'avenir, lui qui fut parrain de la promotion 1985 des prothésistes dentaires formés à l'ISNA de Metz en partenariat avec la faculté de chirurgie dentaire de Nancy.

François Unger

La CFAO dentaire

F. UNGER, chirurgien-dentiste

A quelle époque la CFAO dentaire est-elle devenue fiable ? Quels sont les différents matériels impliqués dans la chaîne de la CFAO dentaire ? Quel est l'intérêt pour un laboratoire de prothèse de s'équiper d'un système CFAO ? Quels seraient les avantages de déléguer l'usinage à un centre extérieur au laboratoire de prothèse ? Quelles qualités distinguent les différents systèmes de CFAO actuellement disponibles ? Quelles sont les voies d'évolutions envisageables pour les systèmes actuels ?

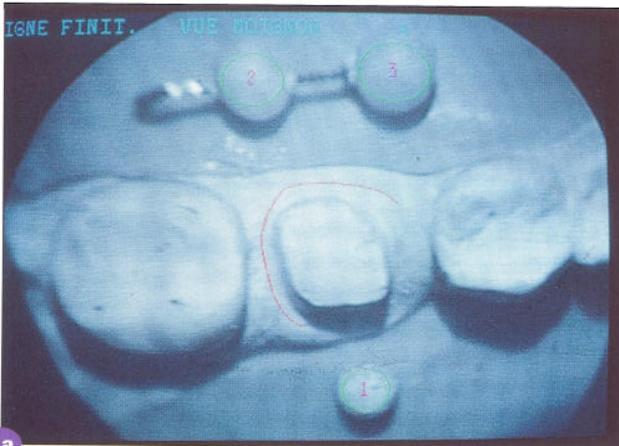


La CFAO, Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (en anglais CAD-CAM : Computer Assisted Design, Computer Assisted Manufacturing) désigne un ensemble de processus industriels qui ont été développés pour simplifier et standardiser les techniques dans les tâches répétitives. Les tourneurs et fraiseurs ont cédé la place aux machines à commandes numériques, véritables robots. Les maquetristes cessent peu à peu de mettre en forme le bois, la cire, ou les métaux et s'attachent à construire des objets virtuels sur ordinateur. Dans le domaine dentaire, chaque pièce est unique. Aucune dent n'est identique à une autre et donc chaque prothèse est un prototype fabriqué à un seul exemplaire.

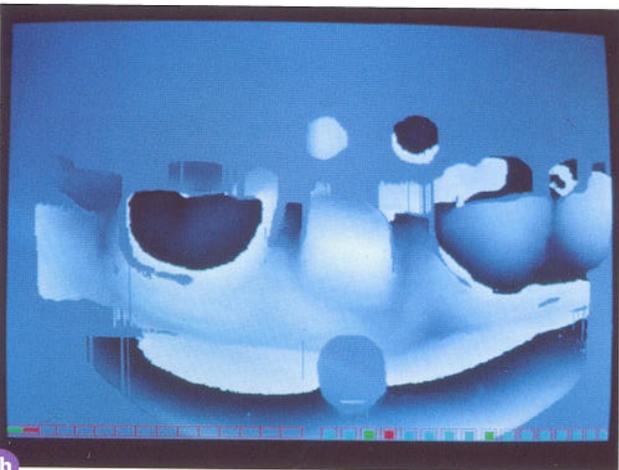
Il était donc légitime de penser que la CFAO avait peu d'avenir dans un tel domaine.

C'est tout le mérite de F. Duret (4, 6) d'avoir été, dès 1973, le concepteur et l'inventeur de la CFAO dentaire.

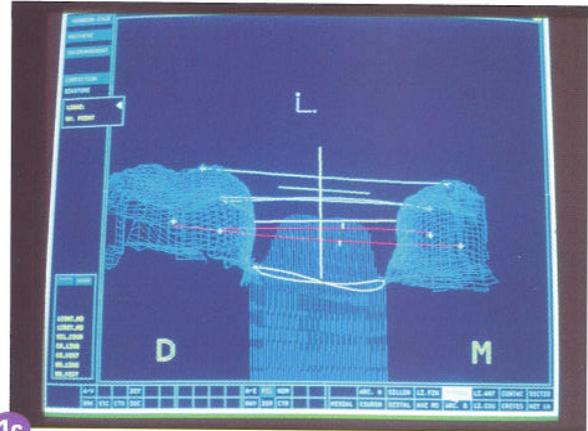
Son travail sur les empreintes optiques constitue l'acte de naissance de la CFAO dentaire parce qu'il a permis, en 1982, de structurer l'équipe de chercheurs et la chaîne technologique qui ont réalisé la première démonstration de CFAO (entretiens de Garancière) puis les premières couronnes unitaires (1985) (fig. 1).



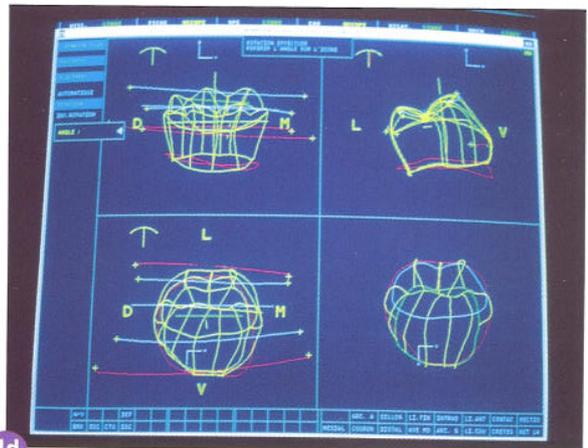
1a



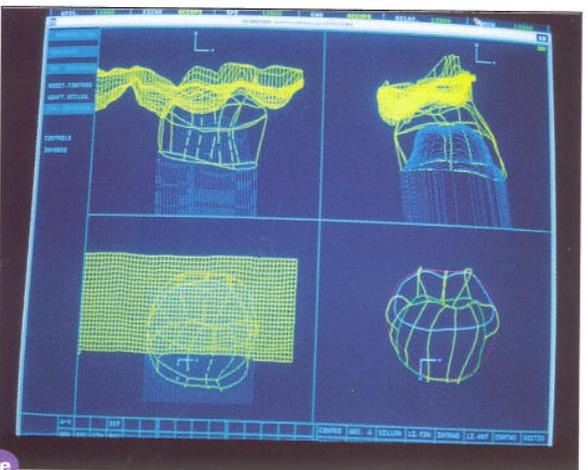
1b



1c



1d



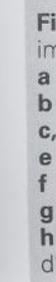
1e



1f



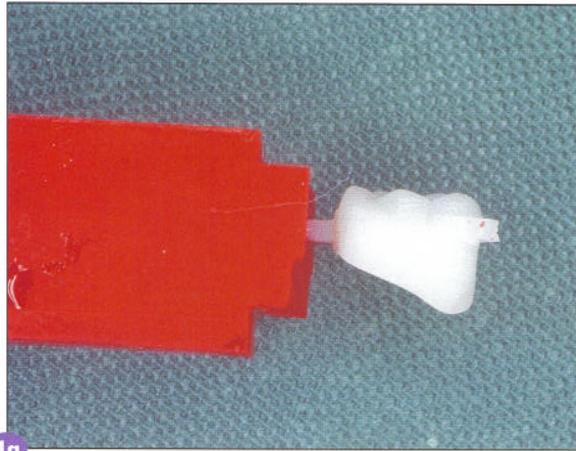
1g



1h



1f



1g



1h

Fig. 1 Couronne CFAO réalisée selon le procédé imaginé par Duret :

- a empreinte optique.
- b élaboration du modèle numérique.
- c, d CAO de la maquette.
- e établissement de la morphologie occlusale.
- f usinage.
- g prothèse obtenue en sortie de machine.
- h contrôle de l'adaptation de la prothèse brute. d'usinage sur le moignon.

D'autres équipes ont cherché à développer la CFAO, tant aux Etats-Unis qu'au Japon. Mais ce sont finalement les travaux européens (malgré l'échec commercial de la société qui développait le système Duret) qui ont fait aboutir la CFAO dentaire. En Suisse, Mörmann et Brandestini sont à l'origine du système CEREC® tandis qu'en Suède Andersson a développé le système Procera® (1). Selon Witkowski (16), on peut distinguer trois catégories de procédés de CFAO dentaire.

LES PROCÉDÉS SOUSTRACTIFS

Ils permettent d'usiner des blocs de matériaux par enlèvement de matière avec des machines à commandes numériques. Le système CEREC® en est l'illustration. Son évolution s'est faite vers un système complet et compact dont le CEREC inLab® est l'aboutissement actuel (fig. 2). Il permet de scanner les modèles des dents préparées, de construire des maquettes numériques de prothèses, puis d'usiner ces prothèses, toutes les opérations étant faisables dans un laboratoire traditionnel à partir des matériaux standardisés par la firme Vita : Incéram, alumina, spinel ou zirconia (fig. 3). De nombreux systèmes fonctionnent sur ce principe.

Les différentes méthodes de prise d'empreintes pour la CFAO

F. DURET, chirurgien-dentiste
B. PELISSIER, chirurgien-dentiste

Comment les empreintes optiques se définissent-elles par rapport aux empreintes surfaciques faites avec les matériaux habituels ? En quoi les empreintes optiques sont-elles différentes des empreintes obtenues par palpeur ? Par quelles techniques optiques peut-on obtenir des images précises des volumes des dents ou des modèles ? Quels sont les temps d'acquisition des images ? Quand les empreintes optiques pourront-elles être prises directement en bouche ?



La technique de la CFAO dentaire est née en 1971 de l'idée de réduire à sa plus simple expression les gestes répétitifs ayant pour but de fabriquer les prothèses dentaires. Le principe de base était le suivant :

- réaliser une empreinte ayant la possibilité d'être digitalisée,
- modéliser les modèles et les prothèses sur un ordinateur,
- commander une machine outil à commande numérique.

Le fait de passer par l'informatique nous a semblé d'entrée la meilleure solution pour répondre à ce besoin et offrir un système dit de cybernétique odontologique. Ce système a vu le jour entre 1980 et 1982, a été présenté

de nombreuses fois jusqu'en 1985 et a finalement acquis ses lettres de noblesse à partir de 1990 grâce en particulier, à l'origine, aux travaux de notre équipe française mais aussi à ceux de Moerman (Cerec) ou d'Anderson (Procera). Il nous a paru intéressant dans le présent article de rappeler les grands principes de la prise d'empreintes.

CLASSIFICATION DES MÉTHODES DE PRISE D'EMPREINTES

Il existe aujourd'hui 3 méthodes permettant la prise d'empreintes en odontologie :

- la méthode par contact surfacique (ou méthode chimico-manuelle/méthode de prise d'empreinte classique),
- la méthode par contact ponctuel (ou méthode mécanique),
- la méthode par empreinte optique (ou méthode ondulatoire).

La méthode par contact surfacique (ou méthode chimico-manuelle/méthode de prise d'empreinte classique)

Cette méthode est très connue depuis plus de deux cents ans puisque c'est le mode d'empreinte que nous utilisons traditionnellement. Elle est utilisée en CFAO pour suppléer l'impossibilité que nous avons aujourd'hui de faire des empreintes directement en bouche.

Cette méthode disparaîtra irrémédiablement lorsque la méthodologie nous permettra des analyses visuelles 3D et la réalisation de toutes les prothèses par usinage. Dans cette méthode, l'empreinte est faite à l'aide d'une pâte et c'est cette pâte qui mesure l'objet, c'est-à-dire la bouche du patient de par sa déformation.

Cette mesure est transmise sur un modèle en plâtre qui servira de support d'information et c'est cette information qui sera, soit lue par des systèmes de CFAO, soit utilisée dans une procédure classique de réalisation de prothèse.

Si nous souhaitons interpréter de manière moderne l'empreinte par contact surfacique, nous dirons que la déformation est une forme de mesure car elle est fonction de la position des points constituant la surface du modèle donc de leur positionnement dans l'espace.

Elle est analogique car nous possédons cette mesure sans connaître la valeur (elle est matérialisée). Le modèle en plâtre peut être assimilé au disque de stockage informatique car c'est sur lui qu'est transférée l'information de cette mesure. Sa dégradation ou sa destruction conduit irrémédiablement à la perte des données.

La méthode par contact ponctuel (ou méthode mécanique)

Communément appelée méthode par micropalpage. Cette méthode a été décrite pour la première fois par Mushabac en 1977. Dans cette méthode, la mesure se fait à l'aide d'un micropalpeur qui vient toucher et balayer la surface de l'empreinte en envoyant sa position x, y, z par un flot régulier d'informations à l'ordinateur de pilotage et d'enregistrement.

Cette méthode connaît actuellement son apogée dans le système Procera où nous pouvons effectuer le balayage d'une préparation de manière automatique et très rapidement.

Classiquement, cette méthode se divise en deux.

La lecture dite universelle

Elle est appliquée dans le système Procera et dans le système Cadim où nous assistons à un balayage automatique sans intervention directe de l'opérateur si ce n'est pour positionner le modèle en respectant l'axe de balayage du palpeur. Dans ces systèmes, la référence 000 est en général la référence de départ qui sera vérifiée à l'arrivée (correction des dérives ou calibrage).

La lecture à la volée

Le principe de la lecture à la volée consiste à manipuler manuellement un bras articulé qui viendra toucher l'objet à mesurer.

Utilisée originellement dans le DSC Titane et perfectionnée en 1989 par Diane Reko dans le système Bego, cette méthode a l'avantage de permettre des mesures précises et variées (contre-dépouille, surface irrégulière) mais a l'inconvénient d'obliger une manipulation souvent fastidieuse.

Quel que soit le mode de lecture utilisé, que ce soit universel ou à la volée, les informations sont digitales c'est-à-dire la connaissance des points

de la surface de l'empreinte sont directement amenés à l'ordinateur en valeur numérique correspondant à la position en x, y et z de la pointe du palpeur par rapport à la position de départ ou de référence 000.

Le seul traitement qu'exige cette information est lié à l'imprécision électrique du système de mesure dans la pointe (ou bougie) et le rayon du bout du palpeur puisque le point pris en compte sera le centre de cette sphère.

La méthode par empreinte optique (ou méthode ondulatoire)

C'est une méthode qui peut être extrêmement précise et très rapide. Certes, certains essais de micro-palpation ont été testés en bouche mais ils ont tous conduit à des échecs. Seule, cette méthode permet d'envisager une empreinte en bouche directement (ce qui n'exclut nullement dans notre esprit d'envisager de se passer du prothésiste). Le principe de la méthode optique, d'une manière générale, est de projeter sur l'objet un rayonnement que l'on connaît et de mesurer ce que nous renvoie l'objet donc de mesurer la déformation que l'objet a imposé à notre rayonnement de référence. Une mesure optique est donc une mesure de déformation et pour la faire correctement, il est nécessaire de connaître le rayon incident ou rayon de référence non déformé par l'empreinte et de le comparer à celui portant l'information de la forme de l'objet. Pour mettre en œuvre cette technologie d'empreinte optique, il est nécessaire de posséder :

- un émetteur de lumière qui peut être de la lumière cohérente laser ou incohérente,
- un récepteur associé à un convertisseur transformant l'information optique en information numérique,
- un système de traitement d'informations d'image souvent très perfectionné.

Il existe quatre grandes méthodes d'empreinte optique, mais celles appliquées à la dentisterie se divisent en 2 grandes catégories :

- la méthode dite par triangulation,
- la méthode dite par temps de vol.

La méthode dite par triangulation

Cette méthode est directement dérivée de la

vision oculaire ou méthode dite par stéréoscopie. Nous pouvons travailler, comme les yeux, avec deux caméras, mais nous pouvons remplacer aussi une caméra par la projection d'une onde, l'autre caméra servant à regarder la déformation de l'onde projetée. On peut d'ailleurs aussi multiplier le nombre de caméras et de projections lumineuses si l'on veut augmenter la précision du système.

Le principe des calculs permettant de connaître les points constituant la surface de notre modèle est identique quelle que soit la méthode de triangulation utilisée.

- La méthode stéréoscopique à double caméra
Certains essais ont été faits en dentisterie, mais ils ont tous échoués, car il est très difficile de faire correspondre les 2 vues d'une même préparation, sans l'aide d'une unité de calcul extrêmement complexe. Aujourd'hui, mis à part des ordinateurs très puissants, seul le cerveau humain est capable d'effectuer cette fusion et d'en déduire des distances (sans vraiment les mesurer).

- La méthode par projection d'un point lumineux et lecture par une caméra

Très couramment utilisée en dentisterie, nous projetons sur la préparation un point lumineux qui balaye l'empreinte comme le faisait le micro-palpeur.

Lorsque ce point lumineux rencontre le modèle, il se reflète sur le pourtour (se déforme) comme le faisait la position du micro-palpeur et c'est ce décalage, par rapport au rayon initial, qui nous permet de connaître la position de chaque point de la surface du modèle. On retrouve cette méthode dans le système GC.

- La méthode de projection d'une ligne lumineuse
Cette méthode est aussi couramment utilisée en dentisterie. Nous projetons sur l'empreinte, non pas un seul point lumineux mais une ligne entière, c'est-à-dire un ensemble de points lumineux alignés. Cette méthode est évidemment plus rapide, puisque nous lisons un ensemble de points en une fois mais le capteur est plus complexe et le traitement d'images plus sophistiqué donc plus cher. On retrouve ce système dans l'appareil DSC Titane et le Cercon.

- Projection d'un masque

Il ne s'agit plus de projeter un point ou une ligne mais un ensemble de lignes parallèles noires et

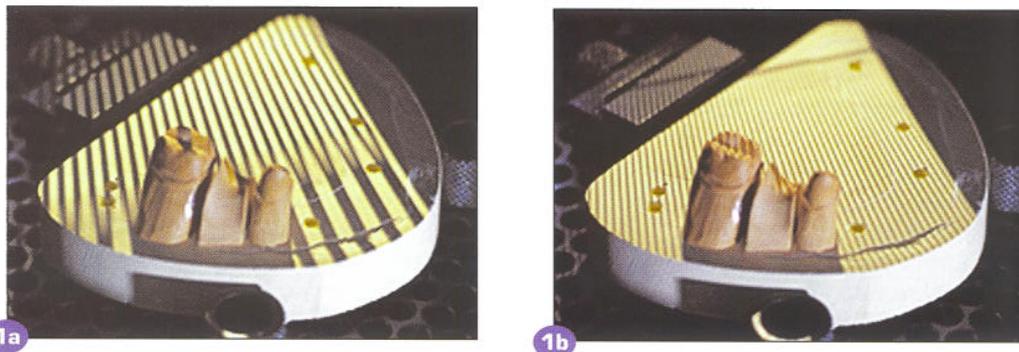


Fig. 1a, b

Projection d'un masque. Sur le modèle de travail en plâtre, des masques composés de lignes de largeurs variables sont projetés pour trouver l'ensemble des points constituant la surface de l'objet.

blanches en général et de largeur variable. Cette méthode est évidemment extrêmement rapide puisqu'il suffit en général d'une projection entre 3 et 5 masques (ou lignes parallèles) pour trouver l'ensemble des points constituant la surface de l'objet dans l'espace. C'est la seule méthode qui est transposable en bouche aujourd'hui. Elle se retrouve dans les systèmes les plus perfectionnés que sont le Digident, l'Everest ou le LAVA system (fig. 1).

- Système jouant sur la modulation de l'onde
Il s'agit d'une variante de la méthode précédente. Certains systèmes utilisent la modulation de l'onde ou les niveaux de gris entre le niveau blanc et le niveau noir pour augmenter la vitesse et la précision de l'analyse.

Ces systèmes jouent sur la modulation de la lumière elle-même, c'est-à-dire sur la sinusoidale du rayonnement lumineux en tant que nature ondulatoire. Le principe est de créer des interférences entre la lumière émise (qui peut d'ailleurs être virtuelle et mémorisée) et la lumière réfléchie. La mesure de cette interférence permet de retrouver les 3 dimensions et principalement la troisième (z). Ces méthodes sont extrêmement précises et rapides et la plus connue est le moiré électronique ou sa variante la phase profilométrique. Elle fut utilisée dans notre système dès 1982, et fonctionne aujourd'hui dans le système

Cerec. Pour mettre en œuvre cette méthode, il est nécessaire en général de décaler l'onde de $p/2$ un minimum de 4 fois, voire 6 de préférence, pour atteindre des précisions proches de 10 microns.

Signalons une petite variante intéressante utilisée par le système Cynovad : en plus de mesurer les interférences ondulatoires, on répartit ces dernières dans un faisceau chromatique permettant une reconnaissance des plans successifs dans l'espace en fonction des couleurs observées.

La méthode par temps de vol

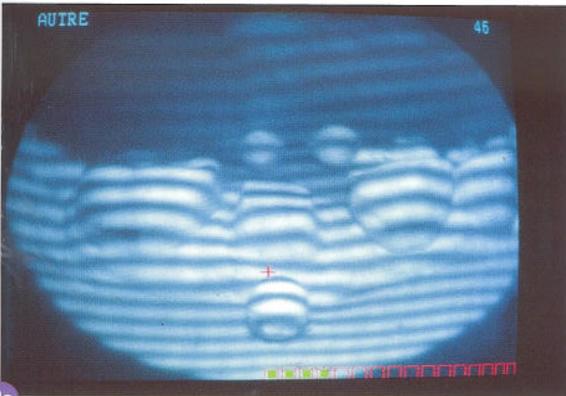
Le principe est de mesurer le temps que met le rayon pour partir et revenir au niveau du récepteur. Plus le point est éloigné, plus le temps de vol est élevé. L'intérêt de cette méthode est de permettre d'aligner le rayon incident et le rayon réfléchi (ils peuvent être confondus sur la même ligne) alors que par la méthode par triangulation, un angle minimum de 8° est toujours obligatoire si l'on veut une précision correcte. Cet avantage est très important, puisqu'il permet de résoudre les problèmes de projections d'ombres si pénalisantes dans l'analyse des détails et des contre-dépouilles. Cette méthode est encore peu utilisée en dentisterie, mais est sans doute promise à un très grand avenir. Il existe aujourd'hui des systèmes fonctionnels prototypes qui offriront la rapidité, la précision et la maniabilité lorsqu'ils seront financièrement abordables.



2a



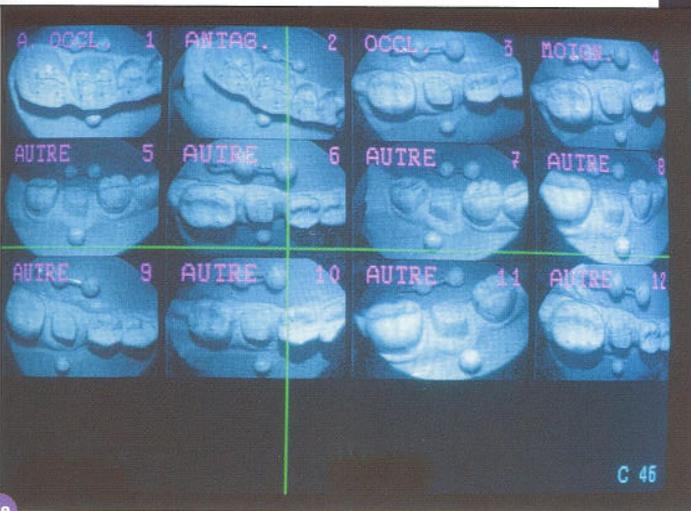
2b



2c



2d



2e

Fig. 2

a Poste de travail CFAO issu des travaux de F. Duret à la fin des années 80 (poste de travail du Dr Georget).

b Le capteur optique de ce système était capable d'enregistrer les formes des préparations par rapport à des repères sur le modèle ainsi que la morphologie occlusale par la saisie d'un mordu.

c, d, e Images obtenues et leur traitement.

LES TRAITEMENTS D'IMAGE

Il est difficile aujourd'hui de détailler tous les traitements d'image mis en jeu dans ces différentes méthodes. Plus la méthode est complexe et plus le traitement d'image est sophistiqué. Nous précisons simplement que la précision de la méthode n'est jamais liée à la grosseur du point ou de la ligne lumineuse comme nous l'entendons trop souvent. Ce sont des outils mathématiques très performants qui sont mis en œuvre permettant de tirer des points observés des surfaces sous forme d'équation mathématique respectant le modèle à 5 microns près.

Nous appelons cela classiquement les méthodes de filtre et d'échantillonnage, la méthode de représentation étant la méthode de modélisation. En général, du flot de points que nous recevons (x, y, z) ou nuages de points, nous en tirons des surfaces élémentaires qui seront envoyées au système de modélisation CAO.

CARACTÉRISTIQUES D'UNE PRISE D'EMPREINTES

La précision d'une méthode d'empreinte classique est autour de 20 à 50 microns comme une méthode par micro-palpage alors qu'une méthode d'empreinte optique peut descendre en dessous de 5 microns. Par contre, le fait d'être obligé de corrélérer plusieurs vues pour avoir un seul objet sous toutes ses faces ramènent la précision d'une empreinte optique autour de 20 microns. Le mode de corrélation est donc aussi important que le mode de prise d'empreintes lui-même. C'est pour cela qu'aujourd'hui il est encore nécessaire de fixer les modèles sur des supports et de les déplacer mécaniquement d'un angle à valeur connue. Seul, un système a permis de prendre à la volée des empreintes optiques, c'est le système que nous avons développé en 1985. Le système Cerec est très proche de cette réalisation, avec une précision acceptable.

CONCLUSION

Si la méthode optique prend indiscutablement le pas sur les autres méthodes et occupera sans doute une place de choix dans les cabinets dentaires dans un proche avenir, la modélisation

et l'usinage se développeront dans les laboratoires de prothèse.

C'est de cette association que naîtra la future dentisterie prothétique informatique que nous avons complètement décrite dès 1973 (fig. 2). Pourtant, l'idée maîtresse n'est pas encore atteinte. Celle-ci consistera sans doute à la création d'une fusion étroite entre le cabinet dentaire et le laboratoire qui pilotera une micro-fraiseuse de contrôle réalisant une pièce provisoire en quelques minutes via internet dans le cabinet dentaire.

C'est de cette manière que nous étudions et développons l'évolution hardware de la CFAO dentaire car elle respecte l'idée maîtresse (suppression des modèles), permet le contrôle de la préparation (prototypage rapide en cabinet dentaire) et assure une réalisation parfaite de la future prothèse par l'homme de l'art c'est-à-dire le prothésiste.

Nous aurons dans le cabinet dentaire :

- une caméra de prise d'empreinte,
- les composants périphériques (analyse des mouvements mandibulaires, de couleur, de tonicité, de points d'occlusion...),
- une petite micro-fraiseuse de prototypage rapide.

Nous aurons dans le laboratoire :

- une unité CAO,
- une fraiseuse de commande numérique capable d'usiner tous matériaux, vite et bien !

Le principe de manipulation sera le suivant :

Le chirurgien-dentiste prendra l'empreinte qu'il adressera, via internet (ou autre), au laboratoire. Celui-ci modélisera une couronne provisoire et commandera, via internet, l'usinage de cette pièce dans le cabinet dentaire grâce à la micro-fraiseuse. Cette pièce servira de contrôle d'empreinte, de contrôle de modélisation (avec retouche occlusale possible) et de couronne provisoire.

S'il le décide, le dentiste pourra faire l'empreinte de l'extrados, la corriger et l'envoyer au laboratoire. Le laboratoire disposera alors de l'empreinte de la préparation et éventuellement de l'empreinte de l'extrados corrigée.

Il lui restera à réaliser, par CAO, la prothèse permanente et à l'adresser au cabinet dentaire.

LECTURES CONSEILLÉES

- Duret F, et Pelissier B. - Les empreintes en CFAO dentaire. *Encycl. Med. Chir., stomatologie/odontologie*, 2003, à paraître.
- International Journal of Computerized Dentistry, publication de "Quintessence" volume 1 (1998) à volume 6 (2003). 4 publications par an.
- Moermann W. CAD/CIM in aesthetic dentistry. 1996, Berlin, Quintessence International.
- Mushabac D. Micropalpatation for dentistry. United States Patents. USA, 1977 ; 1, 4.184.312.
- Numéro spécial, La révolution du CAD CAM, Technologie Dentaire n° 200/201 - 2003.
- Samama Y, et Ollier J. La prothèse céramo-céramique et implantaire : système Procera. 2002, Berlin, Quintessence International.

GLOSSAIRE

Candela : la candela est l'intensité lumineuse, dans la direction perpendiculaire d'une surface de 1/600 000 mètre carré d'un corps noir à la température de congélation du platine sous la pression de 101 325 newtons par mètre carré. Symbole : $cd = 1 \text{ lm} \cdot \text{sr}^{-1}$ (iso).

Eclairage : 1- Action ou manière de produire, de fournir, de répandre ou de distribuer de la lumière. 2- Application de lumière à un site, à des objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus (iso).

Eclairement lumineux : quotient de flux lumineux reçu par un élément de la surface contenant le point, par l'aire de cet élément. Unité : lux (lx) (iso).

Flux lumineux : grandeur dérivée du flux énergétique par l'évaluation du rayonnement d'après son action sur un récepteur sélectif dont la sensibilité spectrale est définie par les efficacités lumineuses relatives spectrales normalisées. Unité : lumen (lm). Quantité de lumière exprimée en lumens, dirigée dans une direction déterminée (iso).

Intensité lumineuse (d'une source dans une direction) : quotient du flux lumineux quittant la source et se prolongeant dans un élément d'angle solide

contenant la direction, par cet élément d'angle solide. Unité : Candela (cd). Pour une même quantité de lumière émise, l'intensité apparente sera d'autant plus importante que l'angle solide d'émission sera plus réduit (iso).

Lumen : unité SI de flux lumineux : flux lumineux émis dans l'angle solide unité (stéradian), par une source ponctuelle uniforme ayant une intensité lumineuse de 1 candela (iso).

Luminance : quotient de l'intensité lumineuse par la surface. L'unité SI de luminance est la candela par mètre carré cd/m^2 (iso).

Lux ; lumen par mètre carré : Unité SI d'éclairement lumineux : éclairement produit par un flux lumineux de 1 lumen uniformément réparti sur une surface dont l'aire est de 1 mètre carré. Symbol : lx ($\text{lm} \cdot \text{m}^{-2}$) (iso).

Température de couleur d'une radiation : température du corps noir qui émet un rayonnement ayant la même chromaticité que le rayonnement considéré. Unité : kelvin K. Lampe à incandescence : environ 2 500 K, soleil : environ 4 250 K, ciel bleu voilé aux 3/5, côté Nord : environ 6 500 K (iso).

Adresse des auteurs :

F. DURET, laboratoire de CFAO dentaire et B. PÉLISSIER, Odontologie Conservatrice
UFR d'Odontologie de Montpellier I 545 avenue du Pr JL Viala 34193 Montpellier cedex 5