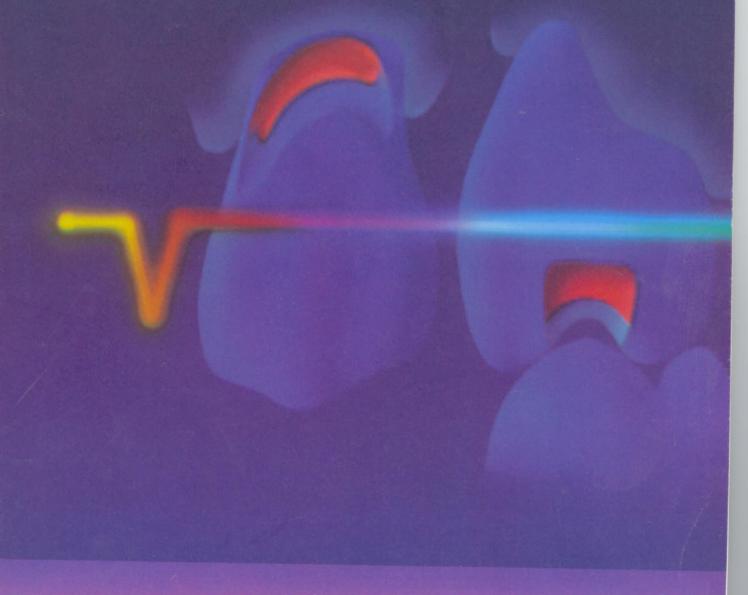
Dentist News

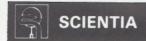
ANTWERPEN X G.P.P. 8 1143 Oktober – Octobre 8de jaargang 1986 8ème année 1986 Magazine odontologique bimestriel Tweemaandelijks tandheelkundig magazine Kluwer

56





LUMIFOR®



La Réalisation d'une couronne assistée par Ordinateur

par le Docteur François Duret et Jean Louis Blouin

La prothèse dentaire a pour objet la réalisation de pièces de substitution comme les couronnes ou les bridges. Il s'agit d'un acte productif interne et externe dans la mesure où il se fait dans le cabinet dentaire et le laboratoire mais hors de la bouche.

Dans toute fonction productive existe un dialogue constant entre l'homme et la machine. La fabrication d'une prothèse dentaire a cette particularité d'avoir comme support permanent de dialogue la matérialisation physique du travail. Nous ne reviendrons pas sur ce que l'on a largement expliqué comme étant les raisons historiques de cette situation. Pour comprendre aujourd'hui la pénétration de la CFAO, c'est-à-dire la conception et fabrication assistée par ordinateur en prothèse dentaire il faut développer la notion de «groupement analogique des tâches».

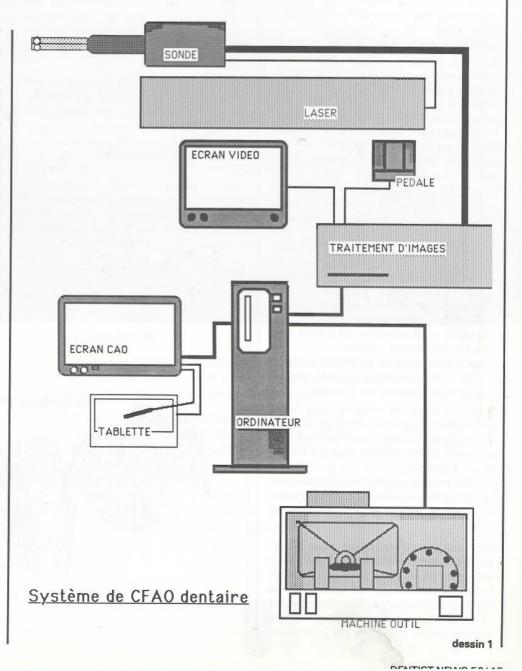
Introduction

L'informatique appliquée passe très souvent par une décomposition Cartésienne des problèmes à traiter. Si l'on étudie les étapes nécessaires à la réalisation d'une couronne nous sommes frappés par la répétition des tâches exécutées, quelque soit la complexité de cet élément. Ainsi il est toujours nécessaire de définir individuellement la ligne de finition ou les centrés antagonistes alors que la détermination de ces zones caractéristiques passe par un même raisonnement (ou un nombre limité de raisonnements) quelque soit le patient... Ce raisonnement est typiquement l'un de ceux que l'on peut classer dans «le groupement analogique des tâches». Impossible à appliquer en méthode traditionnelle, cette facon de traiter la réalisation d'une prothèse pose un problème de production que le procès informatique peut résoudre facilement. Cette approche est fondamentale car elle représente un gain de temps et d'argent remarquable dans tout cycle productif et permet son amélioration par les systèmes experts.

Dans les paragraphes qui vont suivre, nous allons voir que, même si les éléments sont différents,un nombre minimal de fonctions est exécuté en interactif par l'opérateur. Nous montrerons, par cette approche, que de nombreuses tâches ont pu être considérées comme analogues quelque soit le prothèse.

Le matériel se divise en trois parties, la caméra, la CAO et la machine outil. (dessin n°1)

La première étape passera obligatoirement par la digitalisation de notre préparation en bouche.



La prise d'empreinte

L'empreinte d'une arcade ne doit plus être concidérée aujourd'hui, bien que ce fut toujours le cas, comme un simple duplicata mais plutôt comme un relevé matériel de dimensions sur un objet qui est la mâchoire. L'empreinte d'une bouche est une mesure. Cette nouvelle définition à l'avantage de mettre les combattants de la précision non pas sur le terrain de la prouesse clinique mais sur celui de la connaissance métrologique ce qui n'est pas plus mal pour le praticien généraliste soucieux de comprendre les moyens et la finalité de ses actes.

Nous effectuons l'empreinte en utilisant une caméra de lecture tri-dimensionnelle. Cette caméra lit un codage particulier généré par un réseau transmis sur la dent à l'aide d'une lumière cohérente de type LASER. La projection d'une grille ou réseau de profil connu sur un objet permet de connaître la forme du dit objet uniquement en étudiant les contraintes qu'il impose à la grille projetée. Il existe plusieurs méthodes déjà décrites dans votre revue mais ce sont seulement celles connues sous le nom de Moiré qui nous intéressent. Il s'agit d'une méthode interférométrique en temps réel répondant aux impératifs de la prise de vue clinique.

Les caractéristiques du codage, en particulier la nécessité d'avoir un faisceau d'une grande cohérence spacio-temporelle, nous imposent aujourd'hui une source LASER. A Paris, en Novembre 1985 nous utilisions un LASER He-Ne (632,8 nm) de 40 mW sur une bande spectrale de 0,002 nm. Celui-ci était relié à la caméra par une multi-fibre optique de conception classique.

La caméra de prise d'empreinte répond aux impératifs buccaux à savoir, un faible encombrement, un poids raisonnable et une grande rapidité de lecture.

- l'encombrement est faible, aussi bien dans la bouche du patient (sorte de miroirs endoscopiques) que dans la main du praticien où se trouvent le DTC (Dispositif de lecture à transfer de charge) et son électronique associée.
- le poids ne dépasse pas celui d'une lampe de catalyse des ciments
- la vitesse de lecture des DTC (5 M Hertz) et de son électronique autorise plus de quatre prises de vue par seconde.

Si l'évolution de ce système reste faible par rapport au premier prototype de 1983 le principe du codage a suivi une profonde évolution. Nous utilisons aujourd'hui les Moirés électroniques décrits par Halioua. La création d'un codage mobile nous permet de parfaire la relation biunivoque entre les dents et l'image réceptionnée par le

Pour simplifier l'explication nous dirons que le phénomène Moiré est généré par un battement en intensité entre un réseau de fréquence connue Σ et l'image de ce réseau déformée par la dent, de fréquence Σ +d Σ Nous voyons que le profil physique de la dent est défini par le déplace-

ment d Σ de la fréquence. La qualité biunivoque de la lecture sera fonction des qualités optiques de la préparation mais aussi du pouvoir de discrétisation du capteur face à ce d

Sur le plan dentaire, les limites de cette méthode sont connues :

- même en ayant recours au rayon LASER, l'angle apparant de la source ou de la reprise ne peut pas être considéré comme nul.
- le montage, en interprétant l'optique selon sa théorie géométrique, provoque une diffraction de la lumière d'autant plus important que la trame de la grille est petite.
- l'optique de reprise, par sa fonction propre de transfert, va modifier la modulation des franges de Moiré selon le rapport d'éloignement des plans équiphases par rapport au plan de mise au point.

Nous voyons que la prise d'empreinte par des moyens optiques n'est pas chose facile mais, sous couvert d'un bon réglage de ces différents éléments, elle permettra d'atteindre une précision théorique de 25 µm. Elle prend environ 1 mn au fauteuil et se décompose en plusieurs saisies :

- vues vestibulaire, linguale et proximale
- vue des antagonistes
- vue dents serrées en occlusion de relation centrée servant de claie optique pour positionner la préparation par rapport aux antagonistes (le mordu en quelque sorte).

Après lecture par le DTC et leurs conversions analogiques digitales, les informations sont transmises à un système de traitement d'image.

La fabrication du modèle

L'empreinte optique pourrait conduire à la réalisation matérielle du modèle comme l'a proposé plusieurs auteurs. Nous avons toujours affirmé que cela ne représentait qu'un pâle compromis entre la dentisterie traditionnelle et la CFAO. Au terme de «modèle» doit être associée une représentation graphique sur l'écran de l'ordinateur comme l'est le duplicata en technologie traditionnelle. Même si l'image n'existe pas matériellement, son contrôle en est toujours possible...

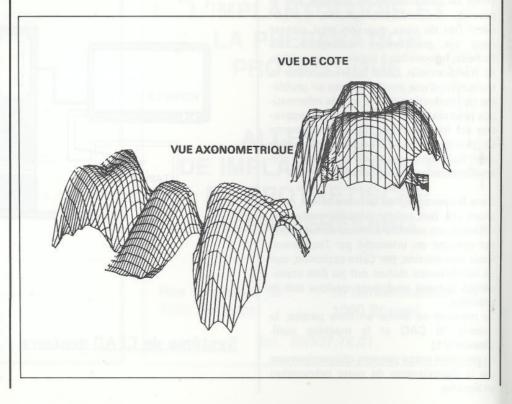
Le système de traitement de l'image nous permet de sélectionner les points intéressants et de corréler les vues dans un même référentiel. Nous créons un seul objet à partir de plusieurs prises d'empreintes: le modèle. Le cœur du système est constitué d'un ensemble de modules électroniques reliés entre eux par un Bus. Dans les modules nous retrouvons:

- une unité centrale,
- les mémoires vives de calculs et d'images
- les interfaces spécialisées et le traitement des signaux vidéo,
- les processeurs de calculs spécialisés,
- les Bus vidéo, processeurs et systèmes.

Cet ensemble nous permet d'étudier une image complète de la préparation, mais aussi de positionner l'observateur selon l'incidence de vue que l'on souhaite. A partir de ce semis de points, nous allons construire la modélisation du modèle pour réaliser l'intrados et l'extrados de la future couronne. (dessin n°2)

La modélisation de la couronne

La modélisation de l'intrados, comme celle de l'extrados ou même la génération des trajets d'outils d'usinage s'effectue avec l'aide d'un logiciel de CAO spécialement écrit pour notre application. Celui-ci est chargé sur des lecteurs de programmes, sous la dépendance des calculs fournis par un micro-processeur et suit d'éventuelles instructions données à l'écran par le chirurgien dentiste ou le prothésiste. Il s'agit donc de concevoir la couronne avec l'assistance d'un ordinateur (CAO).



Pendant très longtemps, lorsqu'il était question d'utiliser du matériel informatique de la puissance et de la complexité d'un système de CFAO, nous devions avoir recours à un personnel spécialisé. Ajour-d'hui nous assistons à une telle standardisation des moyens que quelques jours suffisent à un profane pour faire fonctionner un logiciel spécialement développé pour son métier. Nous sommes bien loin du Big Bleu 2250 IBM! Nous pouvons estimer à une semaine d'enseignement le temps nécessaire à tout praticien pour être complètement opérationnel sur ce type de matériel.

Modélisation de la prise d'empreinte

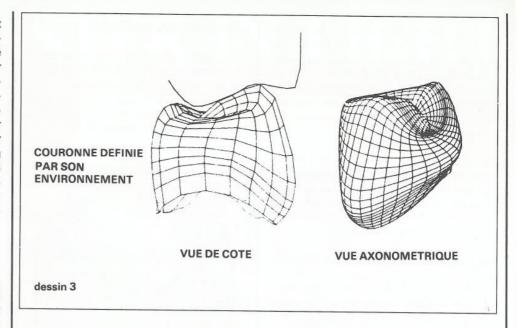
Le modèle se présente sous la forme d'un semis de points jettés dans l'espace (d'où son nom) mais parfaitement situés par rapport à un ensemble d'axes de coordonnées. La modélisation d'une surface, c'està-dire l'obtention d'une surface à partir de point spacialement connu, peut se concevoir de différentes façons:

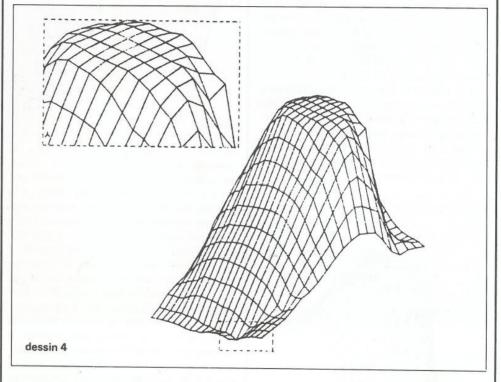
- la plus simple est de réunir les points entre eux par des segments de droites ce qui donnera un treillis transparent de polygones de formes variées. Cette modélisation nécessite trop de mémoire et les algorithmes de calcul sont trop long pour nous satisfaire.
- On préfère à cette méthode celle de Coon ou celle de Bézier (qui a avantageusement remplacé celle de l'Hermite). Il s'agit de construire des polygones de degrès élevés mais nécessitant très peu de points. En agissant sur des pôles internes ou externes aux courbes de construction, il est possible d'obtenir des déformations controlables de la surface.
- Donnant quelquefois des surprises pendant les déformations mais permettant de belles modélisations, les B-Splines et les rationals B-Splines ont permis de générer des surfaces gauches aussi complexes que sont les surfaces de nos dents.

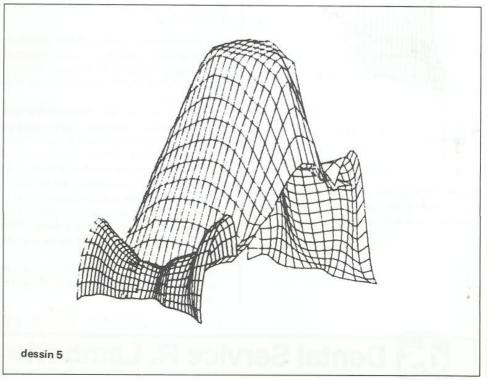
Quelque soit le type de procédure adopté, la dent modélisée présente les critères nécessaires et suffisants à une bonne représentation surfacique, à savoir l'homogénéité (la dent à un intérieur) la finitude (c'est un objet fini dans l'espace) et la rigidité (elle est invariante dans l'espace). Ceci nous permet de créer un solide (dessin n° 3) sur lequel nous pourrons intervenir.

Identification des éléments définissants l'intrados

La première étape consiste à définir la ligne de finition de la prothèse sur la préparation représentée sur l'écran de contrôle. Cette opération peut avoir lieu avec ou sans présence de la gencive. Il est préférable qu'elle soit exécutée par le praticien qui a fait la taille. Sur les dessin n° 4 et n° 5 nous représentons une ligne de finition avec et sans gencive dans le même type de préparation (Paris 1985).





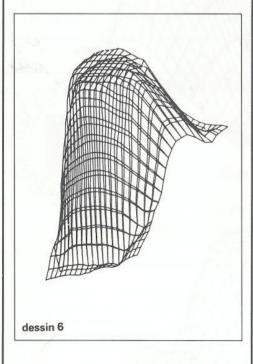


Cette limitation inter-active, c'est-à-dire semi automatique, est très importante car la ligne définie dans l'espace considéré représente le point d'appui bas de l'intrados et de l'extrados. C'est aussi le seul élément commun de deux surfaces constitutives d'une prothèse (en modélisation surfacique).

Par définition, et comme le montre de nombreux ouvrages, un intrados est d'autant plus précis qu'il épouse la forme de la préparation. Fort de cette définition, nous effectuons une simple dilatation du moignon pour obtenir l'intrados.

Nous risquons, à ce stade, de découvrir une contre dépouille. Elles peuvent être le résultat de la préparation de la dent mais aussi celui d'une dilatation sur une face trop verticale. Par définition cette dilatation doit être nulle sur la ligne de finition et progressive au delà. Pour éviter ces pièges la modélisation doit accepter les contredépouilles macroscopiques et lisser les erreurs de taille comme nous le faisons actuellement avec de la cire.

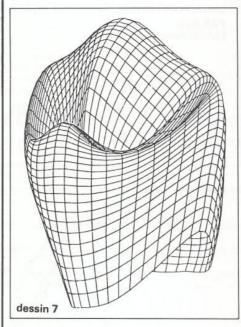
Sur le **dessin n° 6** nous représentons une dilatation exagérée (environ 400 µm) afin de mettre en évidence l'acceptation de la contre dépouille par l'algorithmique de modélisation sur les faces proximales mais aussi pour visualiser clairement la progression de cette dilatation.



A partir de ce stade nous travaillerons plus sur l'intrados introduit dans l'environnement de l'empreinte optique.

Identification de l'extrados

Dans chaque logiciel est mémorisé ce que l'on définit comme étant une dent théorique. Il s'agit de surfaces obtenues à partir de modèles académiques comme il est possible d'en trouver dans tous les libres d'anatomie dentaire (dessin n° 7).



La première étape de la modélisation de l'extrado consiste à rechercher les zones de contact. Pour cela nous identifions dans notre environnement les points, à la surface des dents proximales, les plus proches de la préparation. Nous pouvons aussi les désigner comme nous l'avons fait pour la ligne de finition. La méthode peut être automatisée. Les courbures vestibulaires et linguales de la future couronne s'obtiendront par déformation de la dent théorique dans l'espace mis à sa disposition, à savoir la ligne de finition, les zones de contact et les centrés antagonistes. Il est possible manuellement de corriger cette proposition en travaillant sur les courbures comme nous le faisons en rajoutant ou en enlevant de la cire

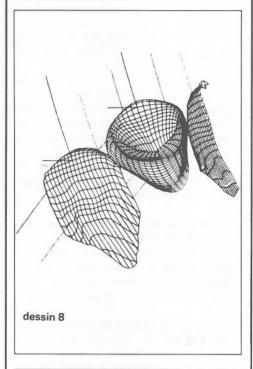
Pour effectuer ces déformations interactives, nous sélectionnons le point incorrect et nous lui indiquons la position désirée. Cette opération reste complexe pour plusieurs raisons :

- le choix d'un point doit être libre quelque soit la surface obtenue. Cela suppose que le logiciel reconnaîtra rapidement les coordonnées du point sélectionné ce qui reste fort complexe dans le calcul.
- la modélisation construite par le calcul doit accepter une augmentation de surface sans pour cela détruire les autres parties modélisées. Il doit y avoir indépendance locale sans rupture globale de la surface.
- l'action doit être suffisamment rapide pour permettre la visualisation de l'effet obtenu.

En tout état de cause ii nous importe de souligner que la dent obtenue n'est pas une dent théorique comme beaucoup ont cru le comprendre mais une dent spécifique à chaque patient. Par ailleurs la personnalisation d'une dent est toujours possible:

- par action sur les dents théoriques de base
- par action interactive personnelle sur la dent obtenue.

Nous ne détaillerons pas les modifications de la modélisation lors des déplacements mandibulaires car cela fera l'objet d'un article en cours de préparation pour une autre revue. Nous préciserons seulement qu'il est possible de modifier la surface occlusale en étudiant les contacts intersurfaces entre la modélisation en mouvement du maxillaire inférieur et celle du maxillaire supérieur considéré comme fixe. Sur le dessin nº 8 nous pouvons voir la modélisation de la dent obtenue ainsi que les vecteurs témoignant des déplacements des centrés lors du mouvement de la mandibule et compte tenu des déterminants de l'occlusion.



Usinage de la couronne

En utilisant la modélisation surfacique de la couronne (extrados et intrados), un module particulier va générer les trajets des outils. Les paramètres sont adressés à une commande numérique après génération de surfaces de Bézier parallèles respectant la géométrie spaciale de l'outil.



JELENKO

La commande numérique

La commande numérique d'une machine outil assure le contrôle de la position et de la vitesse d'avance des parties mobiles de la machine. Elle assure aussi un certain nombre de tâches accessoires permettant l'obtention d'une couronne dentaire. Pour exécuter normalement ce travail, elle reçoit du logiciel de FAO (fabrication assitée par ordinateur) les programmes d'usinages et elle les classe selon leurs caractéristiques fonctionnelles (côtes, vitesse, outil, retournement...)

Ces fonctions sont propres à chaque machine. La CN de HENNSON int., mise au point spécifiquement pour les prothèses dentaires peut se définir comme une suite de blocs d'exécutions qui envoient des informations:

- aux interpolateurs d'axes
- aux processeurs logiques.

Ce dernier reçoit sous forme logique des signaux émanants du processeur mais aussi (éventuellement) d'un clavier interactif. Dans le cas du système dentaire aucune opération interactive n'est nécessaire.

Une commande numérique se compose d'une partie programmée, ou soft, et d'une partie matérielle ou hard. Ses performances seront d'autant meilleures que les logiciels seront bien pensés mais aussi que les éléments électroniques auront été judicieusement disposés.

Le logiciel doit travailler vite afin d'assurer à la fois l'exécution de toutes les fonctions dynamiques de la machine mais aussi le respect de leurs qualités. Il sont, dans le meilleur des cas, temps réel. Les informations sont stockées sous forme de groupes de BITS (Binary Digit) donc sous la logique de deux états 0 et 1 représentés par un courant de 0 et 5 Volt. Pour avoir accès facilement à ce programme, on utilise des langages particuliers comme le compilateur Fortran dans la CN et les codes ISO et APT pour la machine.

Ces langages sont composés de blocs constitués de mots. Si le Bloc constitue une ligne de programme, le mot pour sa part représente les instructions réelles pour le machine. On y trouve l'expression d'une adresse (les axes) d'un sens (+ et -) et d'une valeur (importance du déplacement). Certaines instructions apparaissent comme différentes. Il s'agit des commandes auxillaires correspondant aux fonctions logiques.

Le matériel se présente comme tout calculateur à multiprocesseurs. Les éléments sont les suivants :

- une unité centrale de traitement à microprocesseurs qui interprète et réalise les différentes opérations logiques et arithmétiques. Elle se compose d'une unité de traitement, de différentes zones de stockage, d'entrées et de sorties.
- Un module d'interface d'axe qui traite les signaux de mesure de positions et élabore les signaux électriques pour entraî-

ner les moteurs de déplacement.

 un processeur automate programmable qui assure la gestion des fonctions logiques spécifiques.

Chacun de ces éléments communique entre eux par l'intermédiaire de Bus. Les programmes sont placés sur des mémoires PROM-EPROM inserées sur la carte dans l'unité centrale.

La machine outils

Il s'agit d'un ensemble mécanique dont chacune des parties mobiles sont sous le contrôle d'un calculateur. La fraiseuse HENNSON int. ne peut fonctionner que si, préalablement, un programme d'usinage a été correctement établi par le logiciel de FAO.

Une machine outil de prothèses dentaires se compose de 3 axes (x,y et Z) et d'une fonction indexée de retournement de pièce (demi axe) pour permettre l'usinage très particulier de l'intrados. En plus d'un système de fixation de préforme, elle dispose d'un magasin de 12 outils différents.

Un opérateur (Chirurgien dentiste ou Prothésiste) n'intervient jamais dans la boucle d'usinage mais seulement avant et après. Il le fera très occasionnellement puisqu'il ne peut agir que sur le remplacement des outils ou de la préforme. Une telle machine peut usiner les couronnes, les bridges, les dents à tenon, les attachements, les inlays et les onlays. Si le principe d'usinage de tels éléments est indiscutable, l'expérience nous fera découvrir trés certainement de nouvelles formes de prothèses réservées à l'outil CAO.

Conclusion

La CFAO dentaire est l'ouverture d'une nouvelle voie de recherche dans notre métier qui permet à de nombreux esprits imaginatifs de s'exprimer plus largement. Pourtant la démarche prospective qu'elle imposera à l'exercice quotidien obligera l'odontologiste à ne plus se poser la question sur la redistribution intellectuelle de son acte mais plustôt à orienter son évolution vers les besoins réelles d'une société en partant du principe que la barrière technologique et financière s'est transformée. Cette démarche du bas vers le haut permettra une juste utilisation de nos études épidémiologiques dans nos laboratoires de recherches fondamentales prothétiques donc une orientation logique de notre activité de soignant.

Ce genre d'études prospectives à moyen et long terme permettra d'investir dans des programmes globaux importants mais respectant les objectifs à atteindre et mis à jour dans nos enquêtes.

Née en 1971, la CFAO représente une étape longue mais décisive vers la concrétisation de la valeur scientifique de notre métier. Elle prouve que la chirurgie dentaire, une fois de plus, est une Science de pointe et que le praticien doit être mis au rang des grands thérapeutes du vingtième siècle. Il y a un siècle nous étions des barbiers, aujourd'hui nous imposons les concepts les plus sophistiqués de la physique dans l'exercice de notre vocation.

par le Docteur François Duret

DCD-DSO

Maître et Licencié es Sciences Maître et docteur d'Etat en Biol. Humaine Directeur de recherches et d'enseignements à la faculté dentaire de Marseille

Jean Louis Blouin

Ingénieur INSA Chargé de Cours à l'Université

Bibliographie

Bugugnani (R), Landez (C), Les empreintes en prothèse conjointe. Paris, CDP, édit., 1979.

Halioua (M), Krishnamurthy (R.S.), Lui (H), Chiang (F.P.), Projection moire with moving gratings for automated 3-D topography. Appl. Opt., 22:850, 1983.

Duret (F), L'empreinte Optique ou la cibernétique odontologique. J. Dent. News., 40: 32-54, 1984.

Duret (F), Vers un nouveau symbolisme pour la réalisation de nos pièces prothétiques. Cah Prothèses, 50: 65-73, 1985.

Duret (F), BLouin (J.L), Nahmani (L), Duret (B). Principes de fonctionnement et applications techniques de l'empreinte Optique dans l'exercice de cabinet. Cah. Prothèses, 50:73-111, 1985.

Duret (F), Duret (B), BLouin (JL). Bases fondamentales dans la conception et fabrication assistées par ordinateur des prothèses dentaires. Q.O.S, 39: 197-216, 1985.

Alain-Reyniaux (M), La couronne dentaire de demain. Sciences et avenir 441 : 10-11, 1983. Marty (G), Usinages non conventionnel, Paris, Masson édit., 1972.

