

LYON
13, 14 et 15 Mars 1992

**Neuvièmes Journées
Internationales
du
Collège National
d'Occlusodontologie**

*

Communications Libres

*

Conférences

*



collège
national
d'occlusodontologie

En matière d'occlusodontologie, que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?

François DURET

INTRODUCTION

Depuis plus de 100 ans, de nombreux efforts ont été faits pour résoudre le problème de l'harmonie de la surface occlusale dans son milieu opérationnel. Dans le développement d'appareils plus ou moins complexes, allant de la simple cupule sphérique aux robots masticateurs, se sont intercalées des théories très simples ou extrêmement sophistiquées.

Aujourd'hui, la vulgarisation des mathématiques portée par la démocratisation de l'ordinateur, impose à la quasi totalité des systèmes le devoir de manipuler en des temps extrêmement courts une énorme quantité d'information.

Sommes nous capables d'utiliser cette masse d'informations?

Pouvons nous, dans une étude attentive des grandes routes suivies pour réaliser les reconstitutions prothétiques et diagnostics associés, dégager suffisamment d'informations pour comprendre notre technologie actuelle et imaginer ce que sera le futur en la matière ?

L'objet de cette communication est d'essayer de dégager, du passé, les vecteurs essentiels qui ont guidé la recherche ou la clinique afin de justifier ce que nous avons aujourd'hui. De cette justification et des supports que nous trouvons dans le passé, nous pourrions imaginer comment pourrait être utilisée cette masse d'informations.

1-Comment définir la robotique dentaire:

Comment pouvons nous définir un robot par rapport aux méthodologies traditionnelles? Une méthode ou un instrument de production traditionnel est capable de réaliser une tâche précise suivant des caractéristiques précises connues : cadence, qualité, flexibilité....

D'un robot nous ignorons pratiquement tout sinon qu'il se déplace dans l'espace suivant un certain nombre de degrés de liberté.

Le robot est donc un instrument sans vocation prédéfinie. On connaît seulement les charges qu'il est capable d'assumer comme sa précision, sa répétition, sa vitesse ou sa zone de travail. Ses propriétés sont liées à lui même et non à la tâche qu'il a à effectuer. Cet instrument apparaît

F. DURET *Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...*

donc a la fois comme libre mais aussi comme dépendant totalement de l'information (ordre) qu'il recevra.

Un robot dentaire n'est en rien différent. Tous les robots que nous connaissons aujourd'hui en dentisterie, depuis le Celay jusqu'au Sopha Dental CAD-CAM, répondent a cette définition générale. Leur spécificité odontologique ne se retrouve que dans une certaine vocation à accomplir des tâches dentaires, mais cela reste relativement vague et seul le spécialiste les découvrira. En particulier cette originalité ne se retrouve qu'au niveau de certains composants choisis pour assurer un rendement optimal afin d'effectuer des tâches dans un volume proche de celui d'une ou plusieurs dents.

Il existe actuellement sur le marché cinq appareils de robotique dentaire et cinq sont en passe de l'être dans les cinq années à venir:(1)

- le Celay système, le plus simple, qui réalise des inlays en céramique
- le Procera, pour les infrastructures céramiques en titane
- le DCS titan (même chose)
- le Cerec système pour les inlays céramiques
- le Sopha Dental CAD CAM pour les couronnes et les infrastructures céramiques

Alors pour quelle raison avons nous qualifié ces appareils de robots dentaires ? Parce que ce qui dirige ce type de robot est une information particulière issue d'un programme écrit pour la réalisation d'une pièce dentaire.

Le robot dentaire fonctionnera d'autant mieux que les informations dentaires qu'il va recevoir seront de qualité et que ses degrés de liberté seront élevés. Le système le plus fermé sera celui qui sera le moins apte a s'adapter a des tâches variées (le Procera) alors qu'un système ouvert sera celui qui s'adaptera a différentes tâches par simple modification de la quantité et de la qualité des ordres reçus (la Sopha CAD CAM). Mais cela ne présume en rien de la qualité du travail final.

Tous sont des robots dentaires car il ne sont pas programmés pour réaliser une pièce précise dans un matériau donné. Certains préfèrent la transmission de l'information (les ordres) par voie mécanique a la transmission numérique mais il n'en reste pas moins robot. Mais cela ne présumera pas de leurs possibilités d'évolution.

Comme nous l'écrivions en 1984 (2), le Robot dentaire ou CFAO en son stade le plus sophistiqué, est un appareil permettant le regroupement des tâches homologuées afin de libérer l'imagination créatrice de l'homme pour qu'il dompte les caractéristiques spécifiques de l'objet qu'il doit créer.

Nous pensons sincèrement que sans l'aide du robot, nous ne pouvons pas accéder a la réelle mesure de l'occlusion (3). Nous allons donc maintenant chercher à comprendre comment le robot peut nous aider à connaître et développer l'occlusion. Nous ne craignons pas de faire le parallèle avec les méthodes traditionnelles pour une meilleure compréhension.

2-Elements définissant les caractéristiques occlusales:

Les systèmes de robotique dentaire ont pour but, et uniquement pour but, de faire une thérapeutique dentaire, reconstructive ou non. Cette fonction passe évidemment par le diagnostic de l'équilibre occlusal mais aussi et éventuellement par la réalisation d'une pièce prothétique.

Ce robot ne fonctionnera correctement, dans l'exécution de sa tâche, que s'il possède l'ensemble de ces informations.

2.1-Fonction diagnostic:

La fonction diagnostic peut intervenir aujourd'hui a quatre niveaux, tous accessibles a la robotique:

- analyse des contacts dentaires en position statique
- analyse de l'occlusion dynamique
- analyse de la fonction musculaire et articulaire (myo, sonographie ...)

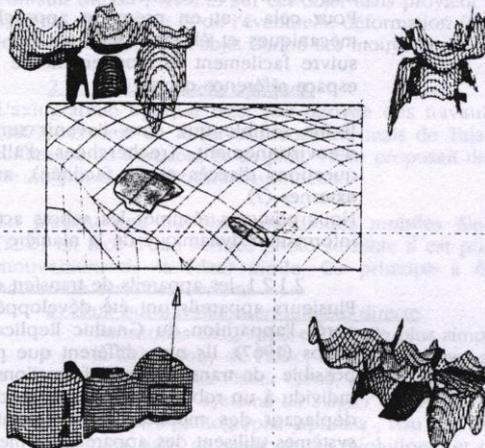
2.1.1-Analyse des contacts dentaires en occlusion statique:

L'analyse de l'occlusion statique nous permet de connaître le type d'engrènement dentaire. Savoir s'il faut ou non un long/wide centric ou un autre type de relation inter arcade ne nous intéresse pas. Notre but sera de savoir comment se situe cet engrènement.

Aujourd'hui cette analyse peut se faire a l'aide des papiers à articulés, en interférométrie ou avec le T-Scan. Nous pouvons même, pour plus de simplicité, transférer cette information sur un modèle (Lefevre).

L'informatique et la robotique dentaires se sont intéressées de très près à cet engrènement statique. Nous avons été nous même les premiers à présenter une visualisation d'un mordu en carreaux de Bézier (3) (figure 1). Comment imaginer utiliser cette technique pour l'analyse de l'occlusion statique ?

Figure 1



F. DURET) *Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...*

Une empreinte numérique (optique ou par palpage) de la dent et de son antagoniste est réalisée. La numérisation est évidemment un apport très important, car elle nous permet de connaître la position de l'ensemble des points reconstituant les surfaces des dents de façon absolue ou/et relative à une référence connue. Nous pouvons aujourd'hui utiliser soit une impression optique ou le palpage direct des surfaces, avec trois points de référence définis, ou avoir recours au mordu de transfert. Récemment nous avons, à USC, introduit la feuille du T-Scan dans le mordu et avons corrélié les points définis sur le mordu pour les positionner très exactement et les transférer sur l'empreinte optique (en cours de publication). Cette méthode a l'avantage d'introduire pour la première fois une valeur discriminatoire aux points qui sont encore de valeur égale. Pour nous en effet tous les points portés par un modèle n'ont pas la même valeur (1).

résultats exploitables: Fort de l'ensemble de ces données, nous sommes à même de comprendre la position et la force de chacune des zones de contact exactes et de les transférer sur l'écran de l'ordinateur. Nous avons fait un diagnostic complet de l'occlusion statique dans la position clinique que nous avons choisi. Nous pouvons bien sûr intervenir pour la modifier par exemple par meulage sélectif, et répéter cette analyse (4) mais ceci n'est qu'un acte répétitif conduisant à un articulé "brut" que nous acceptons a priori.

2.1.2-Analyse de l'occlusion dynamique:

L'analyse des mouvements ne date pas d'hier et les orthodontistes furent les premiers à rechercher dans la visualisation de ces traces un argumentaire supplémentaire à la détermination de la pathologie existante (5). Je pense que cette analyse sera la base du diagnostic de nombreux systèmes experts dans les années à venir.

Nous connaissons l'utilisation de ces mouvements pour le réglage de nos articulateurs (mouvements de bordure...). Ce qui nous intéressera dans l'avenir sera d'avoir un juste diagnostic de l'analyse des contacts prématurés (interférences parasites) au niveau des dents et même à d'autres niveaux (allant de l'ATM aux réactions neuronales) (6-3-4). Pour cela, et en première approche, les premiers articulateurs mécaniques et électroniques ont été développés. Ils permettent de suivre facilement le mouvement de la bouche du patient dans un espace référence connu.

Il me semble que dans l'avenir seront recherchées les anomalies d'environnement, (recherchées d'ailleurs, actuellement, pour des questions d'accès et de facilité), au niveau de leurs émergences externes (7)

Nous pouvons résumer les robots actuels cherchant à analyser cette information dynamique de la manière suivante:

2.1.2.1-les appareils de transfert d'information:

Plusieurs appareils ont été développés (Salomon, Stuttgart, Georget) après l'apparition du Gnathic Replicator de Messerman, Reswick et Gibbs (1967). Ils n'en diffèrent que par la technique utilisée. Il est possible de transférer les informations de la mastication suivie sur un individu à un robot reproduisant mécaniquement les mouvements, en déplaçant des modèles reproduisant la bouche du patient. Ces systèmes utilisent des appareils de mesure mécanique. Aucun n'a été suivi d'une commercialisation malgré la masse et la qualité des informations qu'ils fournissent. Sans aucun doute possible, ils sont à l'origine de beaucoup de recherches dans l'analyse des courbes de mastication.

2.1.2.2.-les Pantographes électroniques:

Depuis les travaux de Gysi, McCollum, Stuart, Guichet et les autres où les traces d'étude s'effectuaient sur des drapeaux placés dans les trois plans de l'espace, a été imaginé le premier arc facial électronique, le Pantographe de Denar (8). Cet appareil a suscité beaucoup de polémique mais il reste le père incontesté d'une liste impressionnante de systèmes mécano-électroniques. Dans ces systèmes, la mesure du déplacement de la mandibule est suivie par des jauges électroniques type résolveurs¹ ou par des potentiomètres magnétiques ou optiques. Ils transfèrent directement l'information ainsi captée à un ordinateur, permettant le réglage de l'articulateur et évitant le long travail d'enregistrement sur l'arc facial.

Signalons:

-Hobytronic System de Hobo, certainement dérivé du Knap's Electronic Measure System, et qui permet, grâce à un petit computer Casio de connaître les mouvements au niveau des condyles et des dents

-nous retrouvons le même type de jauges de déplacement style résolveur dans : l' Artex Compugnath de Girschbach dental, développé à partir des travaux de Korber et Luckenbach de Tubingen (1980), ou dans le Masticator de Fujita (1982)

-le Cinetic, avec ses six potentiomètres (voir exposé de Dupas)

- le Sensor Unit, de Hobo encore, basé non pas sur des résolveurs, mais sur l'impression d'un stylet sur des surfaces conductrices. Cette idée a été reprise par Slaviceck.

Nous préciserons simplement que si certains auteurs considèrent qu'une analyse au niveau incisif est suffisante (Hobo, Luckenbach, Duret) d'autres pensent que le détecteur de mouvement doit se trouver au niveau des condyles (Cinetic) ou aux deux niveaux (Slaviceck). Il nous semble que ceci n'est pas une question intéressante sur le plan fondamental. Le fait d'enregistrer le mouvement d'un objet (la mandibule) dans l'espace ne dépend pas de la position des points que l'on suit (incisif, ATM...) sur cet objet mais provient de la précision du système de mesure et de l'éventuelle déformation (force musculaire sur les tissus osseux) de l'objet durant ces mouvements

2.1.2.3.-les appareils optiques.

L'axiographie optique n'est pas dérivée des travaux de Karlsson (9) (1977), comme on le dit trop souvent, mais de Tajan (10) (1972). A la différence de Karlsson, et en plus, Tajan proposait des 1972 un capteur de communication tridimensionnelle.

En plaçant une ou plusieurs diodes mobiles électroluminescentes (LED) en face d'une surface photo sensible il est possible de suivre le mouvement de la (des) diode. Ce principe a été repris par de nombreux systèmes comme:

a) ceux qui travaillent en lumière directe

- Funktions-Diagnostik de MB (le plus simple)

- le CyberHoby de Hobo, nous en sommes à la version F3

-l' appareil de Fisher (1986, développé à Zurich et duquel se rapproche le système de Siegler (USA)

- l'Electro-pantographe japonais, issu des travaux de Hayashi, qui a subi de nombreuses évolutions, et dont on a vu une nouvelle version à Hiroshima ou le Visi-trainer (Mori) que nous avons eu l'occasion de présenter au CNO il y a quatre ans. (avec une version particulière, caméra sur les murs...)

¹le résolveur est un instrument opto(magnético...)électronique permettant de connaître la position d'un objet par rapport à une référence connue.

F. DURET *Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...*

-enfin en France l'Access Articulator (11-12) (DURET), que vous connaissez bien avec ses deux cameras et ses trois diodes.

b) ceux qui travaillent en lumière réfléchie:

Nous trouvons, hormis certains systèmes bien compliqués, deux appareils remarquables, le Stéreo-Gnathographe de Compudent ou le LR-Condylgraphe de Dentron.

Exceptés les appareils par réflexion qui ne mesurent les mouvements qu'au niveau condylien, les autres travaillent au niveau incisif (CyberHoby, Fisher, MB, Mori et Duret) ou aux deux niveaux (Hayashi).

2.1.2.4.-les appareils magnétiques:

C'est à Kydd (1967) que nous devons le premier appareil de mesure par champ magnétique. Il s'agit d'appareils mesurant le déplacement de la mandibule en suivant les variations produites par un aimant (fixe sur les incisives mandibulaires) dans un champ magnétique induit et enregistrées par des antennes péricraniennes (effet Hall).

Deux appareils ont été développés simultanément, le Myotronics de Jankelson et le Sirognathograph de Lewin. Leur précision reste discutable puisque le High Accuracy Sirognathograph donne 4000 points d'analyse pour 20s (la carte 4000 donne 200 points / s, donc sur un mouvement de 2cm/s elle fournira 1 point tout les 100µm, au mieux et à la précision de l'appareil).

Mais ces appareils restent la source indiscutable de la première information détaillée et vulgarisée du cycle masticatoire. C'est cette information que nous allons étudier pour le diagnostic et la fabrication de notre surface occlusale par robotique.

2.1.2.5.-autres systèmes

D'autres systèmes appelant d'autres technologies, comme les ultrasons ou la scintigraphie RX, existent. Ils ne sont pas encore opérationnels dans la pratique courante.

résultats exploitables: De l'ensemble des informations transmises par ces appareils nous allons tirer des renseignements très importants sur la pathologie des mouvements mandibulaires (il existe de nombreuses études sur le sujet - voir le livre de Lewin, les EMC...). Nous aurons également la possibilité de découvrir des informations capitales pour l'intégration de notre diagnostic oro-facial dans et avec l'équilibre "neuro-musculo-compatible" (Toubol, 13) en particulier au niveau de l'isométrie et de l'isotonie musculaire, des cycles de mastication.....

2.1.3.-Analyse de la fonction musculaire et articulaire (myo et sonographie)

Cette troisième étape va nous permettre de réaliser le bilan musculaire et sonographique de notre patient. Ce travail se fait toujours en accompagnement des mesures faites sur la statique et la dynamique mandibulaire et générale.

Là encore nous trouvons un certain nombre d'appareils permettant ce type de diagnostic:

vous avez vu le BioPAK de BioResearch qui en est un excellent exemple. Nous l'avons utilisé nous même à USC et il nous a donné d'excellents résultats malheureusement amputés par la précision du Sirognathographe. Il nous paraît intéressant de signaler que ce software existe aussi sur le K6 de Jankelson (EM2).

résultats exploitables: Ils sont directement superposables aux études décrites sur l'analyse des mouvements dynamiques. Ils permettent d'accéder de plus en plus à ce concept global de "neuro-musculo-compatibilité". En y adjoignant le Biofeedback électromyographique (Neigert), sorte de meulage sélectif musculaire, ou le TMJ Doppler de Great Lakes, nous pouvons imaginer non seulement un diagnostic musculaire mais une véritable thérapeutique croisée avec le meulage sélectif (Solnit) et la correction posturale (voir l'ensemble des communications sur la posture).

22- Fonctions thérapeutiques:

La robotique assistera à deux niveaux la fonction thérapeutique. Elle permet la modélisation d'une surface respectant l'ensemble de ces données mais aussi assure grâce à son système informatique, la gestion dont, entre autre, l'analyse par un système expert de l'ensemble de ces informations. Il est d'ailleurs difficile de définir laquelle de ces fonctions doit précéder l'autre!

Dans cette fonction thérapeutique, la CFAO prend sa pleine puissance. En effet c'est à ce niveau qu'elle montre son incroyable supériorité sur les méthodes actuellement utilisées.

Ceci explique pourquoi, dans les années à venir, elle va progressivement remplacer les méthodologies traditionnelles.

Il ne s'agit pas ici de faire un exposé sur la CFAO mais de faire comprendre comment nous allons utiliser l'ensemble des fonctions diagnostic fournies par les appareils que nous avons décrits précédemment. Sans ces derniers, la CFAO -ou robotique thérapeutique-, ne peut s'exprimer pleinement.

2.2.1.-Modification occlusale statique, état de l'art des robots actuels:

Si nous analysons un système pantographique, seul le système Celay nous permet la reproduction de la surface occlusale. Celle ci sera construite à partir d'une analyse reposant sur les méthodes traditionnelles (1). Nous pouvons nous reporter aux méthodes de transfert et d'analyse décrites dans la littérature puisque cet appareil ne fait que reproduire ce que le technicien, ou le dentiste, a construit en cire.

Les systèmes Procera, Titan et Cerec (1) ne font pas de surfaces occlusales, donc leur technologie ne peut pas nous intéresser.

Reste le Sopha Dental CAD CAM; ce dernier a opté pour l'intégration de la statique, par l'utilisation du traditionnel mordu, et du dynamisme occlusal (grâce à l'Access Articulator). Comment est il possible d'intégrer effectivement l'ensemble de ces informations à la surface modélisée par le robot ?

Comme nous l'avons vu précédemment, la partie communication de la CFAO dentaire fournit à un ordinateur, non pas un modèle, mais un ensemble de points sous la forme d'une information numérique lui permettant, comme pour une fonction simple parabolique, de construire à partir de ces valeurs, des surfaces gauches.

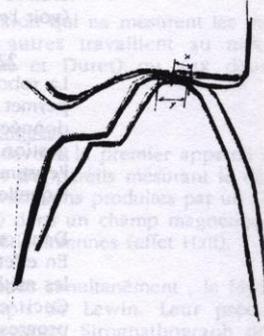
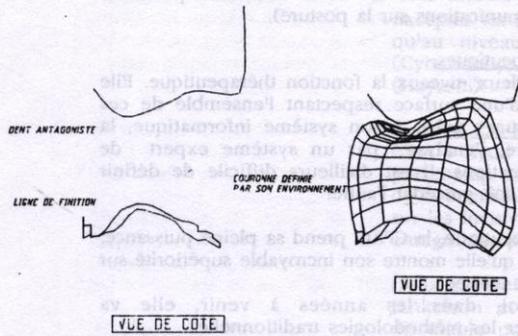
Aujourd'hui un appareil de CFAO, type Sopha, procède de la façon suivante:

-de sa mémoire, il tire une dent de morphologie théorique et vient la placer sur la préparation que nous avons modélisée en 3D. Nous sommes libres de disposer des morphologies que nous voulons. Il n'existe pas, à priori, de morphologie spécifique mais une bibliothèque largement documentée (-able) que rien ne peut nous empêcher de personnaliser. Nous avons ainsi un support de qualité pour réaliser des morphologies très complexes.

F. DURET Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...

Figure 2 (1984)

Figure 3 (1982)



VUE DE COTE

VUE DE COTE

Figure 4 (1982)

Figure 5 (1982)

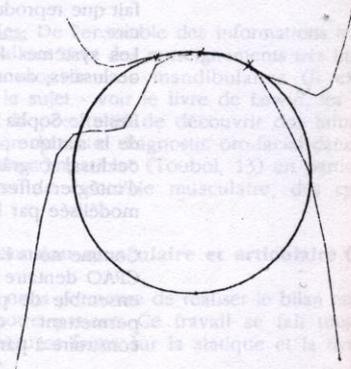
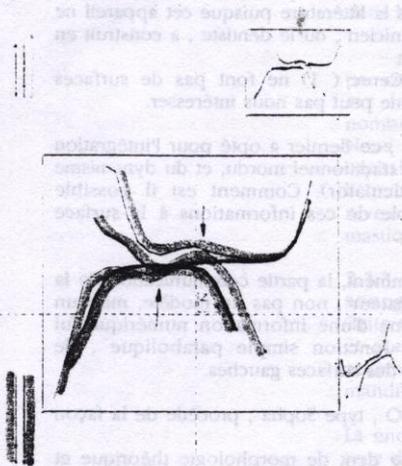


Table clinique N° 2 Organisée avec l'International Academy of Computerized Dentistry (I.A.C.D.)

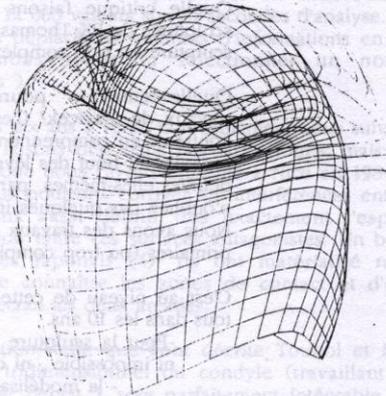
-fort de l'information sur la position des dents antagonistes , et connaissant à priori la position des centres de la dent théorique et des dents antagonistes , le logiciel va faire une adaptation topographique horizontale , cuspides en face des fosses , puis verticale avec une élévation des centres sur les centres antagonistes. Nous avons une véritable construction en cire ajoutée telle que décrite par l'ensemble des gnathologistes depuis plus de 50 ans.

- à ce niveau il est possible d'étudier l'ensemble des surfaces , de faire des sections ou des transparences (figure 2 à 5) (3) pour contrôler la qualité du travail. Il est possible aussi de modifier ces surfaces , comme nous modifions notre cire. Bref la Robotique aujourd'hui , au travers du Sopha CAD CAM , est capable de construire une occlusion statique individualisée comme nous le faisons avec nos modèles en cire et nos articulateurs conventionnels.

dans les dix ans à venir, il sera possible de faire bien d'autres choses. Sans trahir des secrets je dirai simplement que , dans peu de temps cette fonction sera automatique et ne demandera aucune intervention humaine. En effet aujourd'hui il est encore nécessaire d'indiquer les cuspides , les fosses , les sillons ou les bombes. Demain ceci n'existera plus et l'élévation en centre se fera de manière automatique avec détection automatique de l'ensemble des déterminants (que je vous demanderai de me laisser appeler) locaux .

-Il sera aussi possible d'inclure une restriction de zone d'interférence occlusale et de faire glisser en dynamique les dents les unes sur les autres (figure 6) (14 à 16) afin de reconnaître s'il existe ou non un déplacement en centrée.....

Figure 6 (1985)



En dehors de l'automatisation du système de captage et de modélisation , l'existence quasi-certaine de matériaux structurés et hétérogènes , semblables à nos dents , assurera une optimisation des contacts inter dentaires en plaçant des réseaux structurés, pour résister d'une façon anatomique et biochimique, très exactement en regard des zones de contraintes, comme le sont les centrées antagonistes.

D'ailleurs et pour optimiser cette fonction , il me paraît aussi vraisemblable que nous verrons s'intégrer une fonction que je qualifierai "de contrainte spatiale " grâce à l'arrivée des modélisations structurées en éléments finis. Par feed back , cette information sera le

fer de lance des systèmes experts de la nouvelle morphologie occlusale. Nous n'aurons sans doute plus à connaître la construction par cire mais seulement à faire un diagnostic assisté par ordinateur, le plus rigoureux possible, avant d'enregistrer notre occlusion dans l'ordinateur.

Au delà des dix ans, j'ai ma petite idée!

2.2.2- modification occlusale dynamique:

Nous n'avons **aujourd'hui**, en matière d'application de la robotique à l'occlusion dynamique, bien peu d'exemple. Nous pouvons citer:

-Du Duplicator de Knap à l'Integral de Santoni, nous nous rappelons surtout le Locigraphe de Lee qui usinait directement une copie des têtes condyliennes à partir d'un arc facial fixé sur le patient et de deux turbines situées près des oreilles, au niveau des têtes condyliennes.

- le Artex Compugnath (Luckenback), application du précédent mais commercialisable. Ce dernier, en dehors de son capteur, a une micro-fraiseuse assurant l'usinage des têtes condyliennes et du déterminant antérieur, évitant les gabarits, et travaillant en 3D.

dans les dix ans à venir:

Les dix ans à venir vont nous permettre enfin d'utiliser l'ensemble des informations que nous connaissons, sans avoir pu réellement et totalement les mettre en pratique.

Quelle critique Orthlieb fait du système de Kubein-Meesenburg? Tout est logique au niveau de l'incisive centrale, mais cela se "gâte" des l'incisive latérale. Leur système de "manivelle" ne peut pas se placer perpendiculairement à la face palatine et dès lors la courbe devient fausse. Que dire de la canine!

Quelle critique faisons nous des systèmes gnathologiques et des sculptures de PK Thomas? Régler un Stuart, c'est fou, faire ce type de sculpture est trop complexe... et si l'on parle de prix de revient...

Quelle remarque pourrai je faire de l'application des formidables travaux de Slavicek? C'est parfait et d'une telle qualité que peu de confrères en comprennent encore la portée. J'ai pourtant une question toujours au bout des lèvres: vos surfaces sont définies par des lignes, définies elles-mêmes par quelques points. Êtes-vous sûr que vous n'oubliez pas quelques informations capitales?

Nous avons des travaux exceptionnels et nous utilisons des méthodes primaires (ou trop complexes) pour les mettre en application.

C'est au niveau de cette complexité que la robotique va s'imposer à tous dans les 10 ans.

-Pour la sculpture, la morphologie théorique complexe ne sera ni impossible, ni critiquable:

- la modélisation à l'ordinateur étant à la fois garante de la pérennité de cette qualité et permettant sa malléabilité (son évolution),

- la machine outil étant bien plus précise que la main de PK Thomas même dans ses meilleurs moments.

-Pour le suivi du désengrenement puis du ré-engrènement dentaire, information nous permettant de déplacer notre mandibule par rapport à notre maxillaire, et pour lequel nous utilisons aujourd'hui un arc facial... et un articulateur, il nous faut utiliser les données arrivant directement de tous ces appareils d'analyse, ce qui est impossible sans l'électronique et l'informatique. Par ailleurs nous mobilisons aujourd'hui nos surfaces manuellement! Sommes nous sûrs que le dynamisme musculaire est autant mécanistique? Avec la robotique nous

Table clinique N° 2 Organisée avec l'International Academy of Computerized Dentistry (I.A.C.D.)

pourrons dans les années à venir optimiser cette masse de connaissances.

Ces informations vont nous permettre de mobiliser l'ensemble des surfaces modélisées dans l'espace et de suivre le mouvement d'un point quelconque ou ... d'un centre.

-Ces informations vont nous permettre de découvrir que , et je prends le pari, dans un mouvement buccal il y a une information que nous ignorons lorsque nous bougeons notre articulateur à la main. Cette information est liée à la dynamique physique du mouvement dans l'espace et s'exprime par une personnalisation du mouvement. Je pense que les premiers travaux devront porter sur les vecteurs d'accélération avec en facteur la tonicité musculaire . Seul l'ordinateur va permettre aux futurs chercheurs de réunir les informations issues de la tonicité (vieille de plus de 100 ans) aux mouvements (aussi vieux). Rien n'est hasard , dans un mécanisme aussi précis qu'est la bouche.

Ces appareils vont nous donner des expressions de déplacement (vecteurs au sens large du terme) et nous informer de ce qu'est la dynamique du patient..

Que sont ces expressions ?

Une partie est connue depuis très longtemps et elle est applicable directement à nos formes modélisées. Il s'agit de nos bons vieux vecteurs de déplacement. En important ces informations à la CAO, la surface dentaire de la prothèse, issue des modélisations en occlusion statique , se trouvera automatiquement modifiée en son angle cuspidien et en ses sillons de latéralité. Nous avons pu présenter à Hiroshima (17) et à Houston (18), la première réalisation d'une couronne par modélisation dynamique avec le Sopha CAD CAM et l'Access Articulator. Cette adaptation a été faite sur une enveloppe occlusale d'environ 15000 points et un mouvement dynamique représentant 12 000 valeurs sur 20 secondes d'analyse. Nous avons en quelque sorte déplacé 180 millions d'informations en 20 secondes! (en réalité nous avons su sélectionner un nombre minimal d'informations).

Donc dans les dix ans à venir, non seulement nous suivrons ces points, ce que nous faisons déjà dans nos laboratoires, mais l'ensemble des surfaces , tel que nous l'avons présenté à Nice en 1984 (3) et de telle sorte que nous pourrons corriger les interférences entre les surfaces. Nous pourrons aussi définir très exactement l'espace que nous souhaitons avoir entre ces surfaces antagonistes. Un bon exemple est donné par les Japonais (4). Ils ont matérialisé nos travaux en permettant de connaître les zones de contact et d'interférence en déplaçant à l'écran les deux arcades.

La discrimination, telle que l'ont décrite Toubol et Michel, dans le déplacement tridimensionnel du condyle (travaillant au niveau du mouvement de Benett), sera parfaitement intégrable à la correction de modélisation du versant cuspidien.

Au niveau des édentements importants , antérieurs par exemple, et par la communication du mouvement du condyle , soit via les incisives , soit directement au niveau des oreilles, nous pourrons en déduire ce que doit être la surface d'articulé antérieur et dans l'espace , rejoignant et réalisant ainsi les remarquables travaux de nos illustres prédécesseurs depuis Gysi jusqu'à SLAVICEK..

Leurs études en effet vont enfin permettre , non pas de régler un articulateur, mais de modéliser dans l'espace la surface articulaire de la dent absente en suivant le mouvement de la dent antagoniste présente. Ce mouvement spatial de la surface antagoniste sera , par

F. DURET *Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...*

soustraction et addition, l'expression de la modification à appliquer à la dent théorique ou celle de la construction dirigée de la future prothèse reconstructive d'un élément dont l'information a été égarée par le temps.... Toutes les théories seront applicables, sans jauge pré calibrée.

Enfin, et ce n'est pas Féré qui me contredira si je dis que nous intégrerons la déformation moyenne de la mandibule en ajoutant à ce corps en mouvement sa propre déformation interne par la voie des éléments finis (ils atteignent selon cet auteur plus de 300µm entre 38 et 48 ce qui est critique pour les bridges complets!). Cette modélisation d'ailleurs, en association avec les communications scanner, pourra permettre la visualisation de la tête du condyle en mouvement. Il suffira pour cela d'avoir, en disquette la vue tridimensionnelle issue du scanner et de la "brancher" sur notre articulateur électronique. Comme seront loin nos interprétations empiriques des clichés RX.

3-Conclusion:

Comme nous pouvons le voir maintenant, les travaux qui ont marqué les 100 années précédentes de la dentisterie n'ont pas été inutiles, loin s'en faut. Grâce à eux nous allons pouvoir intégrer des données parfaitement connues, maîtrisées et vérifiées.

La nouveauté n'a jamais été la destruction du passé, sauf dans des esprits simplistes, timorés, peureux ou irréflectifs.

Je ne voudrais pas terminer cet exposé sans rappeler que l'application suprême de tous ces systèmes robotisés sera le système expert. Il nous permettra de réunir toutes ces informations et de les gérer afin de rétablir une occlusion respectant :

- la surface occlusale
- la sphère oro faciale
- l'ensemble de l'organisme

Tous les moyens de diagnostic seront rassemblés et je suis sûr que nous aurons bien des surprises!

Il ne sera plus fou d'imaginer, non seulement de reconstruire une bouche mais, sous couvert des enregistrements musculaires et soniques propres à l'individu, de pouvoir la faire évoluer pour l'adapter à l'espace et au temps, avant sa fabrication. Suivant le même procédé, chaque année, lors d'analyses régulières, nous pourrons vérifier si les prévisions sont conformes à la réalité clinique et s'il faut intervenir sur notre travail (et sur la conception de l'analyse) !

Viendra ensuite l'ère de la biologie, et nous pourrons recommencer un nouvel exposé...

QUESTIONS:

Transcrit par J.P. D'ANGELO

P.H DUPAS : Ton travail est extraordinaire, je tiens à le dire. J'ai deux remarques à formuler:

- J'ai peur quand tu montres des angles de BENNETT ou des pentes condyliennes. Partant d'enregistrements antérieurs, c'est comme si tu programmais un articulateur adaptable avec un pantographe mécanique en ne regardant que les plages d'enregistrements antérieures.

- Si tu parles de pente condylienne, d'angles, il faut un point de départ comme

pour tout angle. En considérant ce point de départ, il faut donc localiser un axe charnière.

F DURET : Je tiens à insister sur la notion de précision de l'appareil; il faut être très prudent, j'en suis très conscient.

Quant à la définition antérieure de ce qui se passe postérieurement, je pense que nous arriverons à réaliser un système fiable basé sur ce concept.

En effet, je pense que des méthodes non

Table clinique N° 2 Organisée avec l'International Academy of Computerized Dentistry (I.A.C.D.)

invasives importantes vont être développées dans les dix ans à venir pour avoir une image tridimensionnelle du condyle : ainsi nous situons le condyle non plus dans une position arbitraire mais dans une position absolue. C'est mon opinion.

R SLAVICEK : - Je félicite Mr DURET pour l'exposé d'aujourd'hui, mais aussi pour tous les travaux de qualité qu'il a présentés depuis plusieurs années.

- En ce qui concerne le système de référence, peu importe l'endroit où l'on mesure, à partir du moment où l'on peut, par un certain calcul, étudier ce qui se passe dans une autre zone. A l'extrême, on peut se placer à 1 kilomètre de la partie à étudier si nous possédons un système de calcul suffisamment précis. Je préfère pour l'instant étudier une zone la plus proche de l'axe charnière en l'état actuel des choses, car dans cette situation les calculs sont moins complexes.

- Actuellement, nous n'avons aucun moyen, le plus sophistiqué soit-il, pour reproduire une pathologie. Tous les instruments utilisés, depuis l'articulateur

jusqu'à l'ordinateur le plus perfectionné, ne doivent pas faire oublier que nous devons faire fonctionner notre cerveau qui restera toujours notre meilleur outil.

JD ORTHLIEB : Mr SLAVICEK a parlé tout à l'heure de l'analyse de la rotation et de la translation. Dans le système CADIAS nous travaillons non pas avec un palpeur mais avec deux palpeurs, cela me semble important.

P JOURDAN : J'ai été surpris par une diapo montrant une dent avec des flèches partant de la fosse et non pas des flèches qui vont vers la fosse.

F DURET : J'ai mis cette diapo pour des raisons historiques : elle est tirée du livre d'occlusion de DOS SANTOS. Elle a donc ses imperfections. DOS SANTOS a été le premier à faire une étude sur les éléments finis, qui a été le point de départ de nos recherches sur le matériau hétérogène qu'était l'ARISTEE. Cette diapo était donc dans mon exposé pour des raisons émotionnelles et non pour des raisons scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- 1-Duret F. L'empreinte optique ou la cybernétique odontologique. Dentist1 News 1984;40:32-54.
- 2-Duret F. empreinte optique: etude de la dynamique mandibulaire et utilisation en CFAO. Nice: SOFREB, 1985:
- 3-Ishioka K. Computerized diagnosis of occlusion in Japan. in Advenced Prosthodontics Worldwire , WCP Hiroshima edit. 1991;1:26-29.
- 4-Lyord.Cottingham. In memoriam - Harvey Stallard, PhB,PhD, DDS. Pac Cost Society of Orthodontics Bull 1975;4:Opt Cit.
- 5-Gaspard M. Trouble de l'occlusion dentaire et SADAM. in ProcoDif edit. 1985;1:266p.
- 6-Nahmani L. Kinesiologie Theorie et Pratique. in Comedent ed 1990;1:309 p.
- 7-Clayton JA. Graphic recording of mandibular movements:research criteria. J.Prsthet. Dent. 1971;25(3):287-298.
- 8-Karlson S. Recording of mandibular movements by intraorally placed light emitting diodes. Acta Odontol Scand 1977;35:117-117.
- 9-Tajan Y. mesures et enregistrements en odontostomatologie: les capteurs électroniques. Revue d'Odonto-stomatologie du midi 1972;1
- 10-Duret F, Toubol JP, Jordan F, Georget C. la lecture des mouvements mandibulaires par un systeme opto-electronique:etude du visitrainer 3. CDF 1988;58(438):21-29.
- 11-Duret F, Blouin J. dispositif de mesure et d'analyse de mouvements du corps humain ou de parties de celui-ci. institut national de propriete industrielle, 1988:
- 12-Toubol J, DURET F. De l'articulaire au neuro-musculaire, de la mecanique a l'electronique. Cah. Prothese 1989;66:43-53.
- 13-Duret F. Quand l'ordinateur se fait prothesiste. Tonus 1982;16:13-15.
- 14-Katona TR. A mathematical model of mandibular protrusion. J Prosthet Dent 1991;66(5):699-705.

F. DURET Que pouvons nous attendre des systèmes robotiques dans les dix ans à venir ?...

15-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Principe de fonctionnement et application technique de l'empreinte optique, dans l'exercice de cabinet. C. de Proth. 1985;50:73-109.

16-Duret F. Occlusal Adaptation by CAD CAM. in Advanced Prosthodontics Worldwire, WCP Hiroshima edit. 1991;1:30-31.

17-Duret F, Tatsuya H. Opto-electronic recording with six degrees of freedom. in Int Conf computer clinical dent., J Preston, Quintessence edit 1991;1:(à paraître).

18-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

19-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

20-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

21-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

22-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

23-Duret F, Blouin J, Nahmani L, Duret B. Les nouvelles technologies de l'occlusion dentaire. Revue de Stomatologie et de Chirurgie Maxillo-faciale. 1987;87:1-10.

Communications Libres

Les communications libres qui terminaient le programme scientifique, abordaient des sujets plus cliniques tels l'étude des positions de sommeil, l'examen des modèles, la réalisation de gouttière, la nécessité d'une sémiologie des DCM et l'utilisation de nouveaux systèmes d'analyse mécanique. Le très bon niveau de ces présentations mettait en relief la qualité des travaux personnels des membres du Collège.

Notre rapport ne serait pas complet sans rappeler la projection des magnifiques et didactiques images de reconstitution tridimensionnelles d'imagerie séquentielle de **Pierre CARPENTIER**, **Jean Pierre YUNG** et **Richard MARGUELLES-BONNET**.

Enfin, en clôture, **François DURET** nous présentait une émouvante histoire des pionniers de la gnathologie: **Mc COLLUM**, **STALLARD**, **STUART** et **P K THOMAS**. A travers leurs pièces historiques, prêtées par l'Université de Southern California à la très remarquable exposition du Musée Dentaire de Lyon, et la vibrante revue de **F DURET**, nous pouvions découvrir, derrière des noms liés à des machines et des concepts, des hommes de leur temps passionnés de l'évolution de leur profession.

Le bilan scientifique s'inscrivait alors dans les objectifs des organisateurs: synthèse, interdisciplinarité et rigueur conceptuelle; de l'avis de tous les participants, ces Journées constituaient un véritable tournant théorico-clinique de la compréhension des pathologies chroniques de l'organisme manducateur. Le haut niveau des conférenciers et l'émulante participation des congressistes couronnaient cette réussite scientifique. Pour finir signalons la tenue d'une exposition de qualité dans laquelle plus de quarante partenaires étaient venus en soutien, et la qualité de l'accueil convivial et attentif assuré par la Commission de la Vie Universitaire de la Faculté d'Odontologie de LYON, sous la houlette de **Jean BLANC BENON**. Chacun se séparait en se donnant rendez-vous à TOULOUSE les 19 et 20 Mars 93 pour les 10^{èmes} Journées du CNO.

Communications Libres

Les communications libres qui terminaient le programme scientifique, abordaient des sujets plus cliniques tels l'étude des positions de sommeil, l'examen des modèles, la réalisation de gouttière, la nécessité d'une sémiologie des DCM et l'utilisation de nouveaux systèmes d'analyse mécanique. Le très bon niveau de ces présentations mettait en relief la qualité des travaux personnels des membres du Collège.

Notre rapport ne serait pas complet sans rappeler la projection des magnifiques et didactiques images de reconstitution tridimensionnelles d'imagerie séquentielle de **Pierre CARPENTIER**, **Jean Pierre YUNG** et **Richard MARGUELLES-BONNET**.

Enfin, en clôture, **François DURET** nous présentait une émouvante histoire des pionniers de la gnathologie: **Mc COLLUM**, **STALLARD**, **STUART** et **P K THOMAS**. A travers leurs pièces historiques, prêtées par l'Université de Southern California à la très remarquable exposition du Musée Dentaire de Lyon, et la vibrante revue de **F DURET**, nous pouvions découvrir, derrière des noms liés à des machines et des concepts, des hommes de leur temps passionnés de l'évolution de leur profession.

Le bilan scientifique s'inscrivait alors dans les objectifs des organisateurs: synthèse, interdisciplinarité et rigueur conceptuelle; de l'avis de tous les participants, ces Journées constituaient un véritable tournant théorico-clinique de la compréhension des pathologies chroniques de l'organisme manducateur. Le haut niveau des conférenciers et l'émulante participation des congressistes couronnaient cette réussite scientifique. Pour finir signalons la tenue d'une exposition de qualité dans laquelle plus de quarante partenaires étaient venus en soutien, et la qualité de l'accueil convivial et attentif assuré par la Commission de la Vie Universitaire de la Faculté d'Odontologie de LYON, sous la houlette de **Jean BLANC BENON**. Chacun se séparait en se donnant rendez-vous à TOULOUSE les 19 et 20 Mars 93 pour les 10^{èmes} Journées du CNO.

FAXED
Paul P.
le 15/6/92

En matiere d'occlusodontologie, que pouvons nous attendre des systemes robotiques dans les dix ans a venir ?

Pr Francois DURET

research professor and Chairman

University of Southern California (Los Angeles - USA)

Depuis plus de 100 ans , de nombreux efforts ont ete faits pour resoudre le probleme de l'harmonie de la surface occlusale dans son milieu operationnel . Dans le developpement d'appareils plus ou moins complexes , allant de la simple cupule spherique aux robots masticateurs , se sont intercalees des theories tres simples ou extremement sophistiquées .

Aujourd'hui , la vulgarisation des mathematiques portee par la democratisation de l'ordinateur , impose a la quasi totalite des systemes le devoir de manipuler en des temps extremement courts une enorme quantite d'information.

Sommes nous capables d'utiliser cette masse d'informations?

Pouvons nous , dans une etude attentive des grandes routes suivies pour realiser les reconstitutions prothetiques et diagnostics associes , degager suffisamment d'informations pour comprendre notre technologie actuelle et imaginer ce que sera le futur en la matiere ?

L'objet de cette lecture est d'essayer de degager, du passe, les vecteurs essentiels qui ont guide la recherche ou la clinique afin de justifier ce que nous avons aujourd'hui . De cette justification et des supports que nous trouvons dans le passe , nous pourrons , imaginer comment pourrait etre utilisee cette masse d'informations

1-comment definir la robotique dentaire:

comment pouvons nous definir un robot par rapport aux methodologies traditionnelles? Une methode ou un instrument de production traditionnel est capable de realiser une tache precise suivant des caracterisques precises connues : cadence , qualite , flexibilite.... .

D'un robot nous ignorons pratiquement tout sinon qu'il se deplace dans l'espace suivant un certain nombre de degres de liberte.

Le robot est donc un instrument sans vocation predefinie . On sait seulement les charges qu'il est capable d'assumer comme sa precision , sa repetition , sa vitesse ou sa zone de travail. Ses proprietes sont liees a lui meme et non a la tache qu'il a a effectuer.Cet instrument apparait donc comme libre en lui meme et dependant totalement de l'information (ordre) qu'il recevra.

Un robot dentaire n'est en rien different . Tous les robots que nous connaissons aujourd'hui en dentisterie , depuis le Celay jusqu'au Sopha dental CAD-CAM , repondent a cette definition generale. Leur specificite odontologique ne se retrouve que dans une certaine vocation a accomplir des taches dentaires, mais cela reste relativement vague et seul le specialiste les decouvrira . En particulier cette originalite ne se retrouve qu'au niveau de certains composants choisis pour assurer un rendement optimal afin d' effectuer des taches dans un volume proche de celui d'une ou plusieurs dents.

Alors pour quelle raison avons nous qualifie ces appareils de robots dentaires ? Parce ce que ce qui dirige ce type de robot est une information particuliere issue d'un programme ecrit pour la realisation d'une piece dentaire.

Le robot dentaire fonctionnera d'autant mieux que les informations dentaires qu'il va recevoir seront de qualite et que ses degres de liberte seront eleves . Le systeme le plus ferme sera celui qui sera le moins apte a s'adapter a des taches variees (le provera) alors qu'un systeme ouvert sera celui qui s'adaptera a differentes taches par simple modification de la quantite et de la qualite des ordres recus (la Sopha CAD CAM). Mais cela ne presume en rien de la qualite du travail final.

Il existe actuellement cinq appareils de robotique dentaire sur le marche et 5 en passe de l'etre dans les cinq annees a venir:(1)

- le Celay systeme , le plus simple, qui realise des inlays en ceramique

- le Procera, pour les infrastructures ceramiques en titane

- le DCS titan (meme chose)
- le Cerec systeme pour les inlays ceramiques
- le Sopha dental CAD CAM pour les couronnes et les infrastructures ceramiques

Tous sont des robots dentaires car il ne sont pas programmes pour realiser une piece precise dans un materiau donne. Certains preferent la transmission de l'information (les ordres) par voie mecanique a la transmission numerique mais il n'en reste pas moins robot.. Mais cela ne presumera pas de leurs possibilites d'evolution.

Comme nous l'ecrivions en 1984 (2) , le Robot dentaire ou CFAO en son stade le plus sophistique, est un appareil permettant le regroupement des taches homologuees afin de liberer l'imagination creatrice de l'homme pour qu'il dompte les caracterisques specifiques de l'objet qu'il doit creer.

Nous pensons sincerement que sans l'aide du robot , nous ne pouvons pas acceder a la reelle mesure de l'occlusion (3) . Nous allons donc maintenant chercher a comprendre comment le robot peut nous aider a connaitre et developper l'occlusion.Nous ne craignons pas de faire le parallele avec les methodes traditionnelles pour une meilleure comprehension.

2-elementes definissant les caracteristiques occlusales:

Les systemes de robotique dentaire ont pour but , et uniquement pour but , de faire une therapeutique dentaire , reconstructive ou non. Cette fonction passe evidemment par le diagnostic de l'equilibre occlusal mais aussi et eventuellement par la realisation d'une piece prothetique.

Ce robot fonctionnera correctement , dans l'execution de sa tache , que s'il possede l'ensemble de ces informations.

21-fonction diagnostic:

La fonction diagnostic peut se faire aujourd'hui a quatre niveaux , tous accessibles a la robotique:

- analyse des contacts dentaires en position statique
- analyse de l'occlusion dynamique
- analyse de la fonction musculaire et articulaire (myo, sonographie ...)

211-analyse des contacts dentaires en occlusion statique:

L'analyse de l'occlusion statique nous permet de connaitre le type d'engrenement dentaire. Savoir s'il faut ou non un long/wide centric ou un autre type de relation inter arcade ne nous interesse pas. Notre but sera de savoir comment se situe cet engrenement.

Aujourd'hui cette analyse peut se faire a l'aide des papiers a articule , en interferometrie ou avec le TScan. Nous pouvons meme , pour plus de simplicite, transferer cette information sur un modele (Lefevre).

L'informatique et la robotique dentaires se sont interessees de tres pres a cet engrenement statique. Nous avons ete nous meme les premiers a presenter une visualisation d'un mordue en carreaux de Bezier (3) (figure 1). Comment imaginer utiliser cette technique pour l'analyse de l'occlusion statique ?

Une empreinte numerique (optique ou par palpation) de la dent et de son antagoniste est realisee. La numerisation est evidemment un plus tres important , car elle nous permet de connaitre la position de l'ensemble des points reconstituant les surfaces des dents de facon absolue ou/et relative a une reference connue.Nous pouvons aujourd'hui utiliser soit une impression optique ou le palpation direct des surfaces, avec trois points de reference definis, ou avoir recours au mordue de transfert .Recemment nous avons , a USC, introduit la feuille du T-scan dans le mordue et avons correle les points definis sur le mordue pour les positionner tres exactement et les transferer sur l'empreinte optique (en cours de publication) . Cette methode a l'avantage d'introduire pour la premiere fois une valeur discriminatoire aux points qui sont encore de valeur egale. Pour nous en effet tous les points portes par un modele n'ont pas la meme valeur (1).

resultats exploitables: Fort de l'ensemble de ces donnees , nous sommes a meme de comprendre la position et la force de chacune des zones de contact exactes et de les transferer sur l'ecran de l'ordinateur. Nous avons fait un diagnostic complet de l'occlusion statique dans la position clinique que nous avons choisi . Nous pouvons bien sur intervenir pour la modifier , par exemple par meulage selectif et repeter cette analyse (4) mais ceci n'est qu'un acte repetitif conduisant a un article "brut" que nous acceptons a priori.

212-analyse de l'occlusion dynamique:

L'analyse des mouvements ne date pas d'hier et les orthodontistes furent les premiers a rechercher dans la visualisation de ces traces un argumentaire supplementaire a la determination de la pathologie existante (5) . Je pense que cette analyse sera la base du diagnostic de nombreux systemes experts dans les annees a venir.

Nous connaissons l'utilisation de ces mouvements pour le réglage de nos articulateurs (mouvements de bordure...) Ce qui nous interessera dans l'avenir sera d'avoir un juste diagnostic de l'analyse des contacts precoces (interferences parasites) au niveau des dents et meme a d'autres niveaux (allant de l'ATM aux reactions neuronales) (6-3-4) . Pour cela , et en premiere approche , les premiers articulateurs mecaniques et electroniques ont ete developpes. Ils permettent de suivre facilement le mouvement de la bouche du patient dans un espace reference connu.

Il me semble que dans l'avenir seront recherchees les anomalies d'environnement , (recherchees d'ailleurs ,actuellement ,pour des questions d'acces et de facilite), au niveau de leurs emergences externes (7)

Nous pouvons resumer les robots actuels cherchant a analyser cette information dynamique de la maniere suivante:

2121-les appareils de transfert d'information:

Plusieurs appareils ont ete developpes (Salomon, Stuttgart, Georget) apres l'apparition du Gnathic replicator de Messerman, Reswick et Gibbs (1967) .Ils n'en different que par la technique utilisee . Il est possible de transferer les informations de la mastication suivie sur un individu , a un robot reproduisant mecaniquement les mouvements, en deplacant des modeles reproduisant la bouche de patient. Ces systemes utilisent des appareils de mesure mecanique . Aucun n'a ete suivi d'une commercialisation malgre la masse et la qualite des informations qu'ils fournissent .Sans aucun doute possible , ils sont a l'origine de beaucoup de recherches dans l'analyse des courbes de mastication.

2122-les Pantographes electroniques:

Depuis les travaux de Guizy, McCollum, Stuart, Guichet et les autres ou les traces d'etude s'effectuaient sur des drapeaux places dans les trois plans de l'espace, a ete imagine le premier arc facial electronique , le Pantographe de Denar (8). Cet appareil a succite beaucoup de polemiquesq mais il reste le pere incontesté d'une liste impressionnante de systemes mecanico-electroniques. Dans ces systemes , la mesure du deplacement de la mandibule est suivie par des gauges electroniques type resolverseurs ou par des potentiometres magnetiques ou optiques . Ils transferent directement l'information ainsi capturee a un ordinateur , permettant le réglage de l'articulateur et evitant le long travail d'enregistrement sur l'arc facial. Signalons:

-Hobytronic system de Hobo , certainement derive du Knap's electronic mesure systeme et qui permet , grace a un petit computer Casio de connaitre les mouvements au niveau des condyles et des dents

-nous retrouvons le meme type de gauges de deplacement style resolveur dans : l' Artex compugnath de Girrback dental, developpe a partir des travaux de Korber et Luckenbach de Tubingen (1980) , ou dans le masticator de Fujita (1982)

-le Cinetic, avec ses six potentiometres (voir expose de Dupas)

- le Sensor Unit , de Hobo encore, base non pas sur des resolveurs , mais sur l'impression d'un stylet sur des surfaces conductives. Cette idee a ete reprise par Slavichck .

Nous preciserons simplement que si certains auteurs considerent qu'une analyse au niveau incisif est suffisante (Hobo,Luckenbach,Duret) d'autres pensent que le detecteur de mouvement doit se trouver au niveau des condyles (cinetic) ou aux deux niveaux (Slavichck).Il nous semble que ceci n'est pas une question interessante sur le plan fondamental. Le fait d'enregistrer le mouvement d'un objet (la mandibule) dans l'espace ne depend pas de la position des points que l'on suit (incisif , ATM...) sur cet objet mais provient de la precision du systeme de mesure et de l'eventuelle deformation (force musculaire sur les tissus osseux) de l'objet durant ces mouvements

2123-les appareils optiques.

L'axiographie optique n'est pas derivee des travaux de Karlsson (10) (1977) , comme on le dit trop souvent , mais de Tajan (11) (1972).A la difference de Karlsson , et en plus , Tajan proposait des 1972 un capteur de lecture tridimensionnelle.

En placant une ou plusieurs diodes mobiles electroluminescentes (LED) en face d'une surface photo sensible il est possible de suivre le mouvement de la (des) diode. Ce principe a ete repris par de nombreux systemes comme:

a) ceux qui travaillent en lumiere directe

- Funcktions-diagnostik de MB (le plus simple)

- le CyberHoby de Hobo, nous en sommes a la version F3

-l ' appareil de Fisher (1986, developpe a Zurich et duquel se rapproche le systeme de Siegler (USA)

- l'Electro-pantographe Japonais , issu des travaux de Hayashi, qui a subit de nombreuses evolutions, et dont on a vu une nouvelle version a Hiroshima ou ,le Visi-traineur (Mori) que nous avons eu l'occasion de presenter au CNO il y a quatre ans. (avec une version particuliere , camera sur les murs...)

-enfin en France l'Access Articulator (~~12-13~~) (Duret) , que vous connaissez bien avec ses deux cameras et ses trois diodes.

b) ceux qui travaillent en lumiere reflechie:

Nous trouvons, hormis certains systemes bien compliques, deux appareils remarquables , le Stereo-gnathographe de Compudent ou le LR-Condylgraphe de Dentron.

Exceptes les appareils par reflexion qui ne mesurent les mouvements qu'au niveau condylien, les autres travaillent au niveau incisif (CyberHoby,Fisher, MB, Mori et Duret) ou au deux niveaux (Hayashi)

2124-les appareils magnetiques:

C'est a Kydd (1967) que nous devons le premier appareil de mesure par champ magnetique. Il s'agit d'appareils mesurant le deplacement de la mandibule en suivant les variations produites par un aimant (fixe sur les incisives mandibulaires) dans un champs magnetique induit et enregistrees par des antennes pericraniennes (effet Hall)

Deux appareils ont ete developpes simultanement , le Myotronics de Jankelson et le Sirognathographe de Lewin. Leur precision reste discutable puisque le Hight accuracy Sirognathographe donne 4000 points d'analyse pour 20s (la carte 40 000 donne 200pt / s donc sur un mv de 2cm/s elle fournira 1 point par 100 μ m , au mieux et a la precision de l'appareil)

Mais ces appareils restent la source indiscutable de la premiere information detaillee et vulgarisee du cycle masticatoire . C'est cette information que nous allons etudier pour le diagnostic et la fabrication de notre surface occlusale par robotique.

2125-autres systemes

D'autres systemes appelant d'autres technologies, comme les Ultra-sons ou la scintigraphie RX , existent . Ils ne sont pas encore operationnels dans la pratique courante.

resultats exploitables: De l'ensemble des informations transmises par ces appareils nous allons tirer des renseignements tres importants sur la pathologie des mouvements mandibulaires (il existe de nombreuses etudes sur le sujet - voir le livre de Lewin, les EMC, Abjean ...) Nous aurons egalement la possibilite de decouvrir des informations capitales pour l'integration de notre diagnostic orofacial dans et avec l'equilibre "neuro-musculo-compatible" (Toubol, 14) en particulier au niveau de l'isometrie et de l'isotonie musculaire, des cycles de mastication....

213-analyse de la fonction musculaire et articulaire (myo et sonographie)

Cette troisieme etape va nous permettre de realiser le bilan musculaire et sonographique de notre patient. Ce travail se fait toujours en accompagnement des mesures faites sur la statique et la dynamique mandibulaire et generale.

La encore nous trouvons un certain nombre d'appareils permettant ce type de diagnostic:

vous avez vu le BioPAK de BioResearch qui en est un excellent exemple . Nous l'avons utilise nous meme a USC et il nous a donne d'excellents resultats malheureusement amputes par la precision du Sirognathographe. Il nous parait interessant de signaler que ce software existe aussi sur le K6 de Jamkelson (EM2). 15

resultats exploitables: Ils sont directement superposables aux etudes decrites sur l'analyse des mouvements dynamiques. Ils permettent en plus d'accéder de plus en plus a ce concept global de "neuro-musculo-compatibilite". En y adjoignant le Biofeedback electromyographique (Neigert) , sorte de meulage selectif musculaire ,ou le TMJ Doppler de Great Lakes , nous pouvons imaginer non seulement un diagnostic musculaire mais une veritable therapeutique croisee avec le meulage selectif (Solnit) et la correction posturale (voir l'ensemble des communications sur la posture)

22- Fonctions therapeutiques:

La robotique assistera a deux niveaux la fonction therapeutique .Elle permet la modelisation d'une surface respectant l'ensemble de ces donnees , mais aussi assure grace a son systeme informatique , la gestion dont entre autre l'analyse par un systeme expert de l'ensemble de ces informations. Il est d'ailleurs difficile de definir laquelle de ces fonctions doit precéder l'autre! 32

Dans cette fonction therapeutique , la CFAO prend sa pleine puissance. En effet c'est a ce niveau qu'elle montre son incroyable superiorite sur les methodes actuellement utilisees .

Ceci explique pourquoi , dans les annees a venir , elle va progressivement remplacer les methodologies traditionnelles.

Il ne s'agit pas ici de faire un expose sur la CFAO mais de faire comprendre comment nous allons utiliser l'ensemble des fonctions diagnostic fournies par les appareils que nous avons decrits precedemment.. Sans ces derniers , la CFAO - ou robotique therapeutique , ne peut s'exprimer pleinement.

221-modification occlusale statique, etat de l'art des robots actuels:

Si nous analysons un systeme pantographique , seul le systeme Celay nous permet la reproduction de la surface occlusale . Celle ci sera construite a partir d'une analyse reposant sur les methodes traditionnelles (1). Nous pouvons nous reporter aux methodes de transfert et d'analyse decrites dans la litterature puisque cet appareil ne fait que reproduire ce que le technicien , ou le dentiste , a construit en cire.

Les systemes Procera, Titan et Cerec (1) ne font pas de surfaces occlusales, donc leur technologie ne peut pas nous interesser.

Reste le Sopha Dental CAD CAM. Ce dernier a opte pour l'integration de la statique , par l'utilisation du traditionnel mordu, et du dynamisme occlusal (grace a l'access articulator) . Comment est il possible d'integrer effectivement l'ensemble de ces informations a la surface modelisee par le robot ?.

Comme nous l'avons vu precedemment, la partie lecture de la CFAO dentaire fournit a un ordinateur , non pas un modele , mais un ensemble de points sous la forme d'une information numerique lui permettant , comme pour une fonction simple parabolique , de construire a partir de ces valeurs , des surfaces gauches.

Aujourd'hui un appareil de CFAO , type Sopha , procede de la facon suivante:

-de sa memoire , il tire une dent de morphologie theorique et vient la placer sur la preparation que nous avons modelisee en 3D. Nous sommes libres de disposer des morphologies que nous voulons. Il n'existe pas, a priori , de morphologie specifique mais une bibliotheque largement documentee (able) que

rien ne peut nous empêcher de personnaliser. Nous avons ainsi un support de qualité pour réaliser des morphologies très complexes.

-fort de l'information sur la position des dents antagonistes , et connaissant a priori la position des centres de la dent theorique et des dents antagonistes , le logiciel va faire une adaptation topographique horizontale , cuspides en face des fosses , puis verticale avec une elevation des centres sur les centres antagonistes. Nous avons une veritable construction en cire ajoutee telle que decrite par l'ensemble des gnathologistes depuis plus de 50 ans.

- a ce niveau il est possible d'etudier l'ensemble des surfaces , de faire des sections ou des transparences (dessin 2 a 5) (3) pour controler la qualite du travail. Il est possible aussi de modifier ces surfaces , comme nous modifions notre cire. Bref la Robotique aujourd'hui , au travers du Sopha CAD CAM, est capable de construire une occlusion statique individualisee comme nous le faisons avec nos modeles en cire et nos articulateurs conventionnels.

dans les dix ans a venir, il sera possible de faire bien d'autres choses. Sans trahir des secrets je dirai simplement que , dans peu de temps cette fonction sera automatique et ne demandera aucune intervention humaine. En effet aujourd'hui il est encore necessaire d'indiquer les cuspides , les fosses , les sillons ou les bombes. Demain ceci n'existera plus et l'elevation en centre se fera de maniere automatique avec detection automatique de l'ensemble des determinants (que je vous demanderai de me laisser appeler) locaux. .

-Il sera aussi possible d'inclure une restriction de zone d'interference occlusale et de faire glisser en dynamique les dents les unes sur les autres (dessin 6) (15 to 17) afin de reconnaitre s'il existe ou non un deplacement en centre..... .

En dehors de l'automatisation du systeme de captage et de modelisation , l'existence quasi-certaine de materiaux structures et heterogenes , semblables a nos dents , assurera une optimisation des contacts interdentaires en placant des reseaux structures, pour resister d'une facon anatomique et biochimique ,tres exactement en regard des zones de contraintes , comme le sont les centres antagonistes.

D'ailleurs et pour optimiser cette fonction ,il me parait aussi vraisemblable que nous verrons s'integrer une fonction que je qualifierai "de contrainte spciale " grace a l'arrivee des modelisations structurees en elements finis. Par feed back , cette information sera le fer de lance des systemes experts de la nouvelle morphologie occlusale. Nous n'aurons sans doute plus a connaitre

la construction par cire mais seulement a faire un diagnostic assiste par ordinateur , le plus rigoureux possible , avant d'enregistrer notre occlusion dans l'ordinateur.

Au dela des dix ans , j'ai ma petite idee!

222- modification occlusale dynamique:

Nous n'avons **aujourd'hui** , en matiere d'application de la robotique a l'occlusion dynamique , bien peu d'exemple. Nous pouvons citer:

-Du Duplicator de Knap a l'integral de Santoni , nous nous rappelons surtout le locigraphe de Lee qui usinait directement une copie des tetes condyliennes a partir d'un arc facial fixe sur le patient.et de deux turbines situees pres des oreilles, au niveau des tetes condyliennes.

- le Artex compugnath (Luckenback) , application du precedent mais commercialisable. Ce dernier , en dehors de son capteur, a une micro-fraiseuse assurant l'usinage des tetes condyliennes et du determinant anterieur, evitant les gabaris, et travaillant en 3D.

dans les dix ans a venir:

Les dix ans a venir vont nous permettre enfin d'utiliser l'ensemble des informations que nous connaissons , sans avoir pu reellement et totalement les mettre en pratique.

Quelle critique Orthlieb fait du systeme de Kubein-Meesenburg ? Tout est logique au niveau de l'incisive centrale ,mais cela se "gate" des l'incisive laterale. Leur systeme de "manivelle" ne peut pas se placer perpendiculairement a la face palatine et des lors la courbe devient fausse. Que dire de la canine!

Quelle critique faisons nous des systemes gnathologiques et des sculptures de PK Thomas ? Regler un stuart , c'est fou , faire ce type de sculpture est trop complexe... et si l'on parle de prix de revient...

Quelle remarque pourrai je faire de l'application des formidables travaux de Slavichek? C'est parfait et d'une telle qualite que peu de confreres en comprennent encore la portee . J'ai pourtant une question toujours au bout des levres : vos surfaces sont definies par des lignes definies elles meme par quelques points. Etes-vous sur que vous n'oubliez pas quelques informations capitales ?

Nous avons des travaux exceptionnels et nous utilisons des methodes primaires (ou trop complexes) pour les mettre en application.

C'est au niveau de cette complexite que la robotique va s'imposer a tous dans les 10 ans.

-Pour la sculpture , la morphologie theorique complexe ne sera ni impossible , ni critiquable , - la modelisation a l'ordinateur etant a la fois garante de la perennite de cette qualite et permettant sa malleabilite (son evolution) ,

- la machine outil etant bien plus precise que la main de PK Thomas meme dans ses meilleurs moments.

-Pour le suivi du desengrenement puis du re-engrenement dentaire , information nous permettant de deplacer notre mandibule par rapport a notre maxillaire,et pour lequel nous utilisons aujourd'hui un arc facial... et un articulateur, il nous faut utiliser les donnees arrivant directement de tous ces appareils d'analyse , ce qui est impossible sans l'electronique et l'informatique.Par ailleurs nous mouvons aujourd'hui nos surfaces manuellement ! Sommes nous sur que le dynamisme musculaire est autant mecanistique. Avec la robotique nous pourrons dans les annees a venir optimiser cette masse de connaissances.

-Ces informations vont nous permettre de mobiliser l'ensemble des surfaces modelisees dans l'espace et de suivre le mouvement d'un point quelconque ou ... d'un centre.

-ces informations vont nous permettre de decouvrir que , et je prends le pari , dans un mouvement buccal il y a une information que nous ignorons lorsque nous bougeons notre articulateur a la main . Cette information est liee a la dynamique physique du mouvement dans l'espace et s'exprime par une personnalisation du mouvement . Je pense que les premiers travaux devront porter sur les vecteurs d'acceleration avec , en facteur la tonicite musculaire . Seul l'ordinateur va permettre aux futurs chercheurs de reunir les informations issues de la tonicite (vieille de plus de 100 ans) aux mouvements (aussi vieux). Rien n'est hasard , dans un mecanisme aussi precis qu'est la bouche.

-Ces appareils vont nous donner des expressions de deplacement (vecteurs au sens large du terme) et nous informer de ce qu'est la dynamique du patient..

Que sont ces expressions ?

Une partie est connue depuis tres longtemps et elle est applicable directement a nos formes modelisees. Il s'agit de nos bon vieux vecteurs de déplacement. En important ces informations a la CAO, la surface dentaire de la prothese , issue des modelisations en occlusion statique , se trouvera automatiquement modifiee en son angle cuspidien et en ses sillons de lateralite. Nous avons pu presenter a Hiroshima (17) et a Houston (18) , la premiere realisation d'une couronne par modelisation dynamique avec le Sopha CAD CAM et l'Access articulator. Cette adaptation a ete faite sur une enveloppe occlusale d'environ 15000 points et un mouvement dynamique representant 12 000 valeurs sur 20 secondes d'analyse. Nous avons en quelque sorte deplace 180 millions d'informations en 20 secondes! (en realite nous avons su selectionner un nombre minimal d'informations)

Donc dans les dix ans a venir, non seulement nous suivrons ces points, ce que nous faisons deja dans nos laboratoires , mais l'ensemble des surfaces , tel que nous l'avons presente a Nice en 1984 (3) et de telle sorte que nous pourrons corriger les interferences entre les surfaces . Nous pourrons aussi definir tres exactement l'espace que nous souhaitons avoir entre ces surfaces antagonistes. Un bon exemple est donne par les Japonais (4) . Ils ont materialise nos travaux en permettant de connaitre les zones de contact et d'interference en deplacant a l'ecran les deux machoires.

La discrimination, telle que l'a decrite Toubol et Michel , dans le déplacement tridimensionnel du condyle (travaillant au niveau du mouvement de Bennett), sera parfaitement integrable a la correction de modelisation du versant cuspidien.

Au niveau des edentations importantes , anterieures par exemple, et par la lecture du mouvement du condyle , soit via les incisives , soit directement au niveau des oreilles, nous pourrons en deduire ce que doit etre la surface d'articule anterieur et dans l'espace , rejoignant et realisant ainsi les remarquables travaux de nos illustres predecesseurs depuis Gysi jusqu'a Slavichek..

Leurs etudes en effet vont enfin permettre , non pas de regler un articulateur, mais de modeliser dans l'espace la surface articulaire de la dent absente en suivant le mouvement de la dent antagoniste presente. Ce mouvement spacial de la surface antagonite sera , par soustraction et addition l'expression de la modification a appliquer a la dent theorique ou celle de la construction dirigee de la future prothese reconstitutive d'un element dont

l'information a ete egaree par le temps.... Toutes les theories seront applicables , sans gauge precalibree.

Enfin , et ce n'est pas Fere qui me contredira si je dis que nous integrerons la deformation moyenne de la mandibule en ajoutant a ce corps en mouvement sa propre deformation interne par la voie des elements finis (ils atteignent selon cet auteur plus de $300\mu\text{m}$ entre 38 et 48 ce qui est critique pour les bridges complets!) . Cette modelisation d'ailleurs , en association avec les lectures scanner , pourra permettre la visualisation de la tete du condyle en mouvement. Il suffira pour cela d'avoir , en disquette la vue tri-dimensionnelle issue du scanner et de la " brancher " sur notre articulateur electronique. Comme seront loin nos interpretations folles des cliches RX.

3-Conclusion:

Comme nous pouvons le voir maintenant ,les travaux qui ont marque les 100 annees precedentes de la dentisterie n'ont pas ete inutiles , loin sans faut . Grace a eux nous allons pouvoir integrer des donnees parfaitement connues , maitrisees et verifiees.

La nouveaute n'a jamais ete la destruction du passe , sauf dans des esprits simples, peureux , aventureux et irreflechis.

Je ne voudrai pas terminer cet expose sans rappeler que l'application supreme de tous ces systemes robotises sera le systeme expert. Il nous permettra de reunir toutes ces informations et de les gerer afin de retablir une occlusion respectant :

- la surface occlusale
- la sphere oro faciale
- l'ensemble de l'organisme

Tous les moyens de diagnostic seront rassembles et je suis sur que nous aurons bien des surprises!

Il ne sera plus fou d'imaginer , non seulement de reconstruire une bouche mais , sous couvert des enregistrements musculaires et soniques propres a l'individu , de pouvoir virtuellement la faire evoluer dans l'espace ,avant sa fabrication pour l'adapter , et dans le temps pour incorporer le vieillissement .Par la meme , chaque annee,lors d' analyses regulieres,nous pourrons verifier si les previsions sont conformes a la realite ou s'il faut intervenir sur notre travail!

Quel merveilleux avenir pour nous tous! Et puis il viendra apres l'ere de la biologie, et nous pourrons recommencer un nouvel expose...

Et puis quelle joie de pouvoir s'exprimer en donnant de nouvelles idees aux autres chercheurs. Esperons que ceux ci n'oublieront pas leur auteur

Francois DURET,

Los Angeles le 6 mars 1992

Suite fin de Seminar

avec Roberto

Neils Arnt

Farrow