



L'apport du numérique à la dentisterie et à l'esthétique : point de vue de l'inventeur

François Duret
Élisabeth Duret
Bruno Pelissier
Montpellier

Le sujet ne manque pas d'ambition en 2018 ; il a une sorte d'odeur du passé (Fig. 1), j'irai même jusqu'à dire qu'il devient « pléonasme » car comment dissocier dans un monde moderne dentisterie, esthétique et numérique, jusqu'en 1970, n'était associé à la dentisterie que l'Art avec un grand A. Aujourd'hui la science, avec en première ligne le numérique, y fait une entrée fracassante et c'est tant mieux pour ceux qui aiment notre métier. Cela ne doit pas nous empêcher de l'aborder avec un certain recul. C'est ce que nous allons faire un peu avec vous.

Camper dans notre position ancestrale qui nous laissait penser que notre métier relevait plus de l'art que de la science, nous a fait manquer la première révolution numérique des années 50. Ce n'est qu'au début des années 70 que quelques hurluberlus ont osé se poser la question : pourquoi ne pas dépasser le champ d'action établi arbitrairement dans nos études universitaires et analyser, voire intégrer le numérique à notre pratique quotidienne ?

La question était osée, la réponse le fut encore plus. Ce qui ne devait être qu'un outil se substituant à la pratique répétitive de certains actes, en particulier au niveau de nos actes prothétiques, s'est transformé en aide clinique et même conceptuelle générale dans notre discipline. **Le numérique a progressivement virtualisé notre pratique clinique** et bien sont rares aujourd'hui ceux qui n'y touchent jamais. Virtualisé, le mot est lâché et il va nous accompagner jusqu'à la fin de cet article. Car il s'agit d'abord de cela : le numérique virtualise de plus en plus notre pratique quotidienne et cette virtualisation si importante aujourd'hui est née de la possibilité de numériser, de digitaliser, d'apporter le digital à la dentisterie. C'est l'acte fondateur de la question que nous posons aujourd'hui « l'apport du digital à la dentisterie et à l'esthétique ».

Cet apport a permis de numériser en mesurant les surfaces sur lesquelles nous intervenons. Notre métier est de modeler, d'enrichir ou de corriger des surfaces visibles (ou non). Le faire sur la surface elle-même, réelle comme l'est un modèle ou une dent en bouche, est l'acte fondateur de la dentisterie de toujours. Comme il s'agit de notre champ de travail, pour utiliser le numérique, il nous fallait tout d'abord être capable de digitaliser cette surface. La chose n'était pas simple car à la différence d'un cube ou d'une sphère en mécanique, la dentisterie nous offre que des surfaces complexes, on parle de « surfaces gauches ».

Nous y sommes arrivés grâce à l'empreinte optique qui d'une information réelle, analogique, nous transmet une **information virtuelle, codée et numérique**. Il ne nous restait plus qu'à la traiter et, si ce ne fut le plus difficile, ce fut à coup sûr le plus passionnant. Pensez,



Une partie du musée de CFAO et le premier système connu (Hennion)

mettre en équation nos gestes quotidiens, nos mouvements mandibulaires, nos couronnes en fonction des matériaux... C'est sans doute cette place clef qui explique que souvent nous réduisons la conception assistée par l'ordinateur, voire même la réalisation des analyses ou la fabrication des pièces prothétiques, à l'empreinte optique.

Les dents ne sont plus des objets que l'on touche physiquement (et encore... dans peu de temps on pourra toucher physiquement ces objets virtuels) mais un ensemble de points plus ou moins rapprochés se déroulant dans l'espace. L'empreinte optique a pour but de mesurer la position de ces points par rapport à un référentiel commun (comme l'est le socle de notre modèle en plâtre). D'ailleurs pour une personne qui numérise les surfaces, la comparaison entre les atomes constituants la frontière externe d'une pièce mécanique et les points mesurés par l'empreinte optique à la surface de la dent est une évidence. La surface de la pièce mécanique est constituée de points que l'on mesure comme ceux que l'on mesure sur nos dents.

Si nous voulons même aller plus loin dans notre raisonnement « numérique », ces surfaces mécaniques frontières sont en réalité constituées dans l'infiniment petit par des atomes serrés les uns contre les autres. Les points dans ce monde « sub-microscopique » peuvent donc être confondus avec les atomes de la matière elle-même et toutes les lois qui y sont associées (quantiques...). Si nous imaginons maintenant une caméra endo buccale IOS hyper-précise, nous pourrons trouver un nombre de points identiques véritable surface frontière atomique externe de nos dents et gencives auxquels nous pour-

rons accrocher les mêmes lois, comme par exemple les lois quantiques de la nouvelle physique. Le futur de la dentisterie pour moi se situe là, dans cette maîtrise du dynamisme universel mais ceci est autre chose qu'il est difficile de transmettre.

Notre métier est donc en train, grâce au numérique, de basculer lentement mais sûrement dans le monde de la nouvelle physique et de ses règles associées. Il nous permettra

monde informatique. La digitalisation nous a permis de nous affranchir de l'objet lui-même, et c'est heureux, mais aussi de lui appliquer de nouveaux traitements dans le respect, ou non, des anciennes méthodes. La digitalisation a permis d'actualiser dans un monde moderne ce que nous faisions avec des outils dépassés et même d'appliquer de nouvelles méthodes ou de nouvelles thérapeutiques qui n'étaient même pas envisageables (et même pas pensables) avec nos anciens outils.

Il me paraît intéressant et amusant à cet instant de vous donner deux exemples concrets comparant les anciennes méthodes cliniques analogiques issues du passé et celles issues de la numérisation.

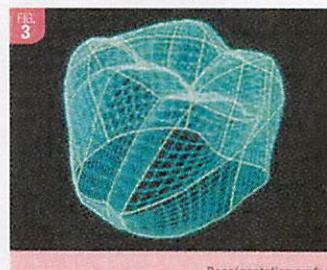
Le premier est l'exemple du modèle en plâtre : à première vue, nous nous disons que la digitalisation du modèle en plâtre est une évidence ; il ne s'agit que de passer d'un modèle réel à un modèle virtuel, grâce au scanner. Cette vision est étroite. Nous avons très rapidement compris, comme dentiste-informaticien, qu'un modèle en plâtre n'est ni plus ni moins qu'une sorte de stockage d'information sous une forme réelle et palpable. **C'est la clef USB des temps anciens. Aujourd'hui, stocker le modèle sous forme numérique grâce au scanner sur une clef USB est un acte similaire** à celui de couler le modèle réel en plâtre mais la finalité ou le résultat est très différent. Ce sont dans les deux cas une mémorisation de la

Information virtuelle, codée et numérique

forme de la bouche. **Dans le premier cas, c'est un modèle non reproduisible**, fragile et non évolutif (mouvements des dents en orthodontie ou en parodontologie). Il ne s'agit que d'une « mémoire instantanée et fugace », alors que dans **l'autre cas c'est une mémoire accessible (RAM) reproduisible à l'infini** et stockable en une infinité d'unités identiques modulables mais pouvant toujours revenir à son état initial.



Modélisation en points de surface et en courbe de Bézier 1985



Représentation surfacique et esthétique en 1985



François Duret, Bruno Pelissier

Deux mémorisations surfaciques, deux disponibilités différentes. Voici un exemple concret de l'apport du numérique supplémentaire et enrichissant la méthode traditionnelle sans en changer sa finalité.

Le deuxième exemple ne se rapporte pas à des mesures de surfaces mais à des analyses décollant des mesures de transparence de la matière. Tous les systèmes de radiologie numérique allant du scanner au cône-beam en passant par notre RVG sont des mesures de matière par transparence. En informatique on ne parle plus de « surface modeling », ou mesure de surface, mais de « solide modeling » utilisé par mon équipe de Hennion dans les premières modélisations de dents faites par le logiciel Euclid de Matra.

Visualiser une radio ne signifie pas qu'elle est numérisée. Voir une radio sur un écran date d'avant les premiers ordinateurs. Les premiers systèmes de radiologie dentaire, comme le premier Cerec, n'étaient pas des systèmes numériques mais travaillaient en analogique. La numérisation n'était pas nécessaire à la visualisation et elle coûtait cher.

Tout aurait pu être analogique sans conversion pour le monde digital. Pourtant c'est le traitement numérique qui a donné toute la puissance à cette technologie. La représentation 3D de la matière « radio » a permis en premier lieu de monter des modèles virtuels avec des forces internes « en éléments finis » reproduisant les tensions internes dans l'os, très utilisée aujourd'hui en prothèse mais aussi en implantologie et en orthodontie. Il nous est possible de visualiser l'effet d'une force appliquée sur la dent, sur l'os ou sur une prothèse pour analyser son comportement et sa remanence. Ceci a conduit aussi à quelques erreurs célèbres lorsque l'on a voulu associer aux niveaux de gris de la radiologie numérique des pathologies et d'y associer de « fausses couleurs ». Ceci est une autre histoire...

Ces deux modèles virtuels aujourd'hui convergent vers un seul objet associant l'image RX invasive et l'image de surface plus précise. Cette pratique s'est généralisée il y a une dizaine d'années et principalement en implantologie et en orthodontie. Elle est incontournable en implantologie car elle permet

de positionner virtuellement des implants, d'en simuler le positionnement mais aussi d'usiner en temps réel les guides d'insertion.

En orthodontie elle permet, certes, de faire des gouttières mais aussi de simuler le traitement en fonction des forces appliquées et applicables pour atteindre l'objectif mais surtout, à la différence des méthodes analogiques, de visualiser d'une manière extrêmement précise le moment d'une éventuelle dérive (et ses conséquences osseuses). Le numérique historiquement s'est attaché à l'orthodontie, non pas comme modéliste de surfaces, mais comme gestionnaire de données. Burston l'a utilisé pour clarifier et... classifier des milliers de données céphalométriques à la fin des années 60. Entre 1971 et 1973 est arrivée la CFAO dentaire (Fig. 4). Ignorée voire mal accueillie dans les années 70 par les instances universitaires, c'est la présentation de 1983 à la Garancière qui lui a permis de s'imposer et de transformer l'acte prothétique grâce à la pression et l'intérêt des dentistes.

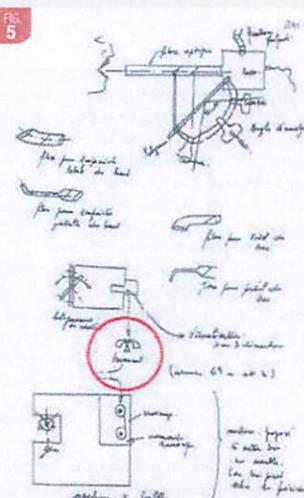
La CFAO a profondément changé le monde dentaire dès son apparition non pas parce qu'elle était technologiquement complexe, mais parce que, dans cette complexité, elle avait été conçue dans un esprit respectant l'acquis scientifique de notre métier depuis son origine. Elle était donc difficilement destructible, exception faite au travers de l'état des techniques de l'époque.

La CFAO laisse le choix de son matériau au praticien

Ce qui intéressa en premier, le plus, les scientifiques de l'époque (entre autres du MIT) et par contre coup les dentistes, fut qu'il s'agissait, sans aucun doute, d'un des premiers systèmes, sinon le premier, d'application de l'intelligence artificielle à la médecine (en tout état de cause c'est le premier en dentisterie). En effet l'IA (Intelligence Artificielle) se caractérise par l'inclusion dans un procès automatique ou semi-automatique d'une réflexion ou d'un savoir-faire humain dans la procédure de réalisation d'un acte en général robotisé. La CFAO dentaire mesure une préparation et produit une couronne. Il y a une différence donc entre les données entrées dans la chaîne et les données exploitées à

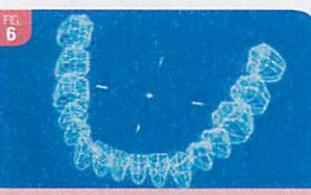
la sortie. C'est la définition même et la plus pure de l'IA. Nous ne nous en sommes pas rendu compte immédiatement car cela nous paraissait évident...

Le deuxième intérêt porta sur le fait que, à la chaîne de la CFAO industrielle classique (conception des données par table graphique, fabrication par usinage le tout assisté par l'ordinateur ou CFAO) était adjointe une nouvelle entrée des données automatisées avec conversion automatique analogique/digitale ou « empreinte optique » (c'est pour cette raison que j'avais choisi ce titre de thèse). La CFAO dentaire proposait d'aller plus loin que la CFAO industrielle classique. Cette différence permit à la dentisterie de traiter des données complexes (surfaces gauches, radiologiques) qui sont le quotidien des dentistes, par des systèmes de CFAO dont les logiciels appliquaient les règles de l'intelligence artificielle. D'un seul coup nous allions pouvoir mettre en équation tout notre savoir sans aucun esprit sélectif, l'équation étant d'autant plus complète que toutes les hypothèses étaient retenues. Elle était aussi enrichie par feedback et, de ce fait, proposait le premier système expert en médecine et dentisterie. Enfin, elle frappa les spécialistes de la communication car elle décrivait pour la première fois internet (avant l'heure) et la télémédecine associée à des grands centres (Fig. 5).



Empreinte et Télémédecine en 1973 avec l'imagination d'internet avant son existence réelle

Tout cela fut apporté par le numérique à la dentisterie (et la médecine par contre coup...) et est actuellement utilisé tous les jours. Les conséquences de cette numérisation ne se firent pas attendre et la quasi-totalité a été décrite et inventée en France (d'où une certaine « jalouse » encore perceptible dans certains articles nationaux et internationaux occultant l'origine des idées et des réalisations). La première porte sur l'automatisation des bibliothèques de dents théoriques utilisées pour construire la forme externe de la future prothèse (Fig. 6).



Arcade de dents théoriques mémorisées

Alors que la dilatation virtuelle de la préparation remplacait avantageusement le « die spacer » imprécis et aléatoire, la partie externe s'appuya enfin sur des critères anatomiques et scientifiques, loin de l'expérience propre du praticien. Créer l'enveloppe externe d'une prothèse est un acte complexe associant origine génétique du patient, mécanique des matériaux, physique des contacts, respect de l'harmonie d'arcades et bien entendu l'esthétique des rendus (incluant forme et couleur). Il est évident que l'approche empirique ne pouvait pas inclure tous ces facteurs et que ce n'est que l'expérience « artistique » du créateur qui y suppléait. J'irai jusqu'à dire que plus la pratique était grande et plus le risque de masquer l'un de ces facteurs était grand.

D'emblée la CFAO a tout mis sur la table en passant par des fichiers standards mais individuellement adaptables. Pour chaque réalisation de prothèse une forme d'enveloppe externe est proposée (dents théoriques mémorisées), avec des outils simples et propres permettant à chacun d'y mettre sa touche personnelle.

Chaque facteur a été numériquement pris en compte, quelques exemples

La génétique est à la fois incluse dans la forme de base, mémorisée dans la mémoire de l'ordinateur mais aussi dans son adaption primaire au regard des dents présentes dans la bouche du patient. Chaque jour de nouvelles bibliothèques sont proposées.

Grâce à la CFAO, la mécanique des matériaux traités en numérique a suivi, dès l'origine, deux voies inexplorées en dentisterie traditionnelle. La première voie fut la création de blocs usines dont on maîtrisait les caractéristiques mécaniques et qui, du fait de l'absence de modification d'état, conservaient leurs qualités « usine » au moment de la mise bouche de la prothèse (usinage par enlèvement de matière). La seconde fut l'usinage de matériaux hétérogènes orientés et structurés (Fig. 7) en tout point semblables à une dent naturelle (avec fibres orientées comme le collagène, charges et liants). L'usinage permettait de respecter l'orientation des fibres et l'Aristée (tel était son nom) ouvrit une nouvelle voie révolutionnaire malheureusement stoppée, temporairement, par l'usure prémature des surfaces. Et nous ne parlons pas des méthodes additives... « chouchou » de la dentisterie moderne.



La physique des contacts était déjà un terrain privilégié des « mathématiciens dentistes » mais la complexité de la construction des surfaces oclusales obligeait d'une part à se cantonner à une théorie ou une pratique (fonctionnaliste, gnathologie... côté balancant...) et la manipulation de l'arc facial était réduite et réservée à une élite. Le numérique a fait comprendre aux praticiens qu'une surface 3D, composée des points de surface dont nous parlions au début de cet

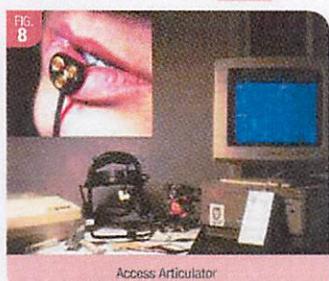


Fig. 4 : These sur CFAO dentaire en 1973 et sur l'esthétique en 1999



10

article, pouvait se mouvoir dans l'espace et qu'à chaque point connu dans l'espace 3D (xyz) pouvait être associée une quatrième dimension, celle du mouvement (xyzt). Tout devenait clair et la modélisation des surfaces devenait une soustraction Booléenne simple et rapide à condition d'avoir l'analyseur. Le premier fut, là encore, français et les 3 diodes et les 2 caméras de l'Access Articulator firent le reste (voir les travaux des Drs Jean Pierre Touboi et Fabienne Jourdan) (Fig. 8).



Access Articulator

Si l'harmonie des arcades passait par la détection des sillons et des crêtes, acte d'autant plus facile que les premiers systèmes de CFAO travaillaient en « morphologie mathématique, là encore le digital... il restait à maîtriser l'esthétique. À ce niveau le digital fit et fait feu de tout bois. Tout d'abord à chaque point des surfaces (encore nos fameux points) fut associée une **5^e dimension, la couleur elle-même** divisée en trois sous-valeurs de spectro-colorimétrie dans le shade-master de Berlin (chroma... et non pas la RGB des Colorimètres). Puis le numérique dériva vers l'esthétisme des volumes en associant à la fois la forme des visages et la forme des dents. Un véritable commerce d'appareils est arrivé progressivement sur le marché dentaire permettant de créer virtuellement les dents futures du patient sur ses photos de visage en 2D (puis récemment en 3D). Véritable petit outil de vente... de l'esthétique mais répondant à un besoin fondamental dans la relation patient praticien. Il s'agissait de reproduire et adapter technologiquement ce qui existait dans l'habillage dès les années 70 grâce au laser (l'armée américaine avait mis au point un système laser permettant de calculer automatiquement la stature de ses soldats pour tailler sur mesure et en temps réel leurs uniformes).

Plus intéressante, mais ceci n'est que mon avis, fut l'idée lancée par notre équipe dans les années 80 et qui consistait à mémoriser et donner sur carte laser (la clef USB de l'époque Fig. 9) toutes les dents en 3D, ainsi que les arcades, les teintes et les mouvements mandibulaires, de chaque patient au moment de l'adolescence, c'est-à-dire lorsqu'elles ne sont pas trop usées. Chacun pouvait alors les transmettre au praticien si nécessaire dans le



Cartes Lasers des années 80

futur et/ou en un autre lieu. Cette application numérique est quand même mieux qu'une vieille photo N & B écornée !

La deuxième révolution qu'apporte le numérique en dentisterie porte sur le diagnostic. Cet apport est particulier car il porte à la fois, comme nous le disions, sur l'imagerie mais aussi sur la transmission des données. Sur l'imagerie, l'exploration des images permet d'arriver à des niveaux d'analyse jamais atteints par les méthodes conventionnelles.

Il n'y aurait pas eu de scanner, de cone beam ou d'IRM sans le numérique. Cet apport a conduit à révolutionner en profondeur toute l'implantologie. Il est impossible aujourd'hui de pratiquer cet acte sans passer par une analyse fine et précise de l'environnement osseux et d'avoir une bonne visualisation virtuelle de l'implant avec son pré-positionnement avant de pratiquer l'acte chirurgical. Véritable compagnon des interventions les plus complexes le traitement et la reconstitution numérique ont permis d'aller bien au-delà des limites que personne ne pouvait imaginer il y a encore 20 ans. Pourtant ce n'est pas une obligation de passer par la reconstruction 3D pour profiter pleinement du numérique en dentisterie. Une simple vue 2D traitée numériquement offre déjà des vues originales sur l'état réel des tissus durs ou des tissus mous. Plus encore en jouant sur les longueurs d'ondes balayant les tissus dentaires et en utilisant un décryptage numérique, il nous est possible aujourd'hui de visualiser en temps réel l'état des tissus. Cette application originale a conduit à certaines applications très intéressantes, comme par exemple, la détection des tissus dentinaires ou carieux dans la caméra Soprolife®.

Sur la transmission des informations, le numérique devient de plus en plus important, surtout en médecine et en prothèse dentaire. Autour de la télémédecine, pipeline des données médicales, se développe toute une industrie du stockage sécurisé (contrôlé par le CNIL) et de transmission des données. L'objet de ces transferts a pour but et pour fonction de chercher l'avis de spécialistes (c'est la transmission pure des données pour analyse) mais aussi de déporter tout ou partie de la chaîne de traitement. Par exemple en CFAO dentaire, la chaîne peut se délocaliser dans un laboratoire de prothèse ou vers un autre cabinet dentaire. Grâce à des fichiers de format STL ou PLY (forme de STL renfermant en plus l'information couleur) (Fig. 10). La chaîne de fabrication peut passer temporairement par le laboratoire.

Autrefois, notre travail était transmis aux laboratoires sous la forme d'un modèle en plâtre et ne revenait que sous la forme d'une prothèse terminée. Aujourd'hui il existe de nombreuses solutions apportées par le numérique :

- l'empreinte optique et sa numérisation (conversion A/D) se font au cabinet (ou au laboratoire) et la prothèse revient terminée. Le traitement entre l'empreinte et la pose est extrêmement rapide, contrôlable financièrement et très confortable pour le patient. Cet acte est d'autant plus rapide que la chaîne peut se situer totalement dans le cabinet dentaire (CFAO directe) ;
- l'empreinte optique est réalisée dans le cabinet et est contrôlée, temps réel, par le

laboratoire (parallélisme, contre-dépouille, espace pour le matériau...) ce qui permet une correction durant la préparation. La collaboration entre le dentiste et le prothésiste est constante ;

- l'empreinte optique est réalisée dans le cabinet et la CFAO dans le laboratoire (grâce à la transmission des fichiers STL). Lorsque la prothèse est modélisée, celle-ci retourne dans le cabinet, en sens inverse mais dans un fichier interprétable par une machine-outil située dans le cabinet (pas sous forme réelle) et c'est le prothésiste qui, à distance, pilote l'usage pour la réalisation finale ;
- enfin, mais ce n'est pas la dernière possibilité, tout en étant sans doute la plus importante, on peut imaginer la transmission des données par satellite. L'information pour les télediagnostic ou les images 2 ou 3D est envoyée depuis une région difficile d'accès. Elle permet son analyse et son traitement par des équipes éloignées mais très spécialisées, via les transmissions spatiales. Le retour peut se faire sur des machines-outils localisées dans ces zones démunies. C'est une extraordinaire dimension humanitaire du numérique appliquée à notre profession. Nous voyons donc que la transmission des images 2D ou 3D revêt des aspects très particuliers et très variés transformant radicalement la vue « centralisée » de notre exercice.

Les autres facteurs de la révolution numérique sont la précision et la vitesse. Historiquement c'est l'absence de maîtrise des variations dimensionnelles, donc de la précision dans nos actes cliniques, qui a conduit à notre numérisation des données. Nous ne connaissons rien des dimensions « métriques » de l'objet sur lequel nous travaillons et dont l'information passe de corps en corps. Nous n'avions aucune idée de ses variations volumiques. Nous appelons cela « variation dimensionnelle » (Pâte d'empreinte/plâtre/cire/cylindre de revêtement/coulée...). Nous arrivons tant bien que mal à les compenser par des actions aléatoires et empiriques.



Images STL, PLY et maillage obtenus par empreinte optique avec la caméra Condor

Le numérique a tout changé en abordant scientifiquement les règles régissant la résolution et la précision. Il l'a fait aussi en précisant dans quelle échelle nous devions travailler. La précision n'était plus liée uniquement à la qualité de l'opérateur mais aussi aux performances de l'outil utilisé. Quant à la vitesse, rien n'a besoin d'être rajouté à tout ce qui a été dit et répété de nombreuses fois. Ce qui nous importe aujourd'hui, c'est que nous devons être conscients qu'en nous dégageant du temps, en nous supprimant des tâches répétitives, la vitesse nous permet de consacrer plus de temps à l'analyse médicale de nos patients, essence même de notre existence professionnelle.

Le numérique va nous ouvrir deux nouvelles voies, l'une étant l'acte clinique robotisé et l'autre, l'acte clinique sous réalité augmentée

Ceci nous amène à parler de l'avenir (proche). **Le numérique va nous ouvrir deux nouvelles voies, l'une étant l'acte clinique robotisé et l'autre, l'acte clinique sous réalité augmentée.**

La première, l'acte robotisé, n'apparaîtra pas immédiatement car elle suppose un contrôle précis des déplacements d'un matériel complexe, de sa miniaturisation et de la maîtrise de son coût.

Pourtant elle fait ses preuves en chirurgie depuis quelques années. L'acte robotisé est plus précis et réduit la fatigue de l'opérateur. Il n'y a donc aucune raison pour qu'il n'arrive pas un jour en dentisterie. Le numérique, c'est cela aussi, et il nous faut l'accepter car si nous ne le faisons pas, d'autres le feront à notre place.

La deuxième, l'acte clinique sous réalité augmentée, peut arriver plus rapidement car elle ne suppose pas l'utilisation d'un matériel complexe et met en jeu des produits existants sur le marché. Nous en arrivons enfin à la partie qui occupe toute notre pensée aujourd'hui, celle de la réalité augmentée strictement dentaire. **La réalité augmentée se caractérise par l'enrichissement de la vision de l'opérateur au moment de son diagnostic et/ou de son action clinique.** Elle fut d'abord une simple vidéo apparaissant dans le champ de travail grâce à des lunettes spéciales. Elle se prépare à offrir beaucoup plus au clinicien. Ceci est l'objet de recherche de mon équipe aujourd'hui. Nous allons vous la présenter comme si vous l'utilisiez aujourd'hui. Imaginez : votre patient arrive au cabinet et vous l'examinez. Immédiatement vous remarquez des caries, une dent incluse et une zone propice à la pose d'implants. Dans le cas d'une utilisation de l'outil RA (Réalité Augmentée), vous demandez à votre patient de faire réaliser un fichier Dat-com (qui imprime la forme du fichier) de sa bouche donc de son environnement osseux. Il revient avec son modèle 3D, issu de l'empreinte optique RX (car utilisant les RX comme vecteur ondulatoire d'analyse) incluant les maxillaires et tout ce qui y est visible à l'œil, dans la bouche, car sous gingival : contour osseux, position de la dent incluse, position de la crête osseuse pour les implants, trajets nerveux et sanguins, racines et apex...). Vous disposez alors d'une information 3D capitale mais invisible directement dans la bouche à moins de regarder une radio en permanence (et encore). Le numérique (reconstitution 3D, discrétilisation des composants sous gingivaux..., fichiers transmissibles et exploitables) a frappé une nouvelle première fois.



François Duret, Bruno Pelissier

Vous faites alors une empreinte optique de la partie externe superficielle de la bouche à l'aide de l'IOS (Intra-oral scanner) de votre choix. Le numérique a frappé une deuxième fois. Cette étape n'est pas forcément obligatoire et vous pouvez passer directement à la troisième étape mais il semble intéressant de la décrire. Vous disposez cette fois de deux fichiers, l'un sous gingival, et l'autre sus-gingival. Le point commun entre ces deux fichiers est la surface stable et rigide des dents. Cette zone est appelée la zone de corrélation. Si vous fusionnez ces deux zones vous n'aurez plus qu'un seul objet 3D comportant la partie interne moyennement précise (sous gingivale), et la partie externe sus-gingivale très précise. Vous pourrez déplacer cet objet nouvellement créé comportant la partie interne et externe de la bouche, la visualiser et l'analyser dans l'espace, grâce à vos lunettes à réalité augmentée.

Passons à la troisième étape, la plus intéressante et sans doute aussi novatrice que lorsque que nous avons introduit l'empreinte optique et la CFAO en dentisterie dans les années 70. Vous gardez vos lunettes à Réalité augmentée et vous regardez réellement à l'intérieur de la bouche de votre patient. Vous y verrez les dents (ce n'est pas surprenant !), mais évidemment vous ne verrez pas ce qui est sous la gencive, comme l'os ou les racines.

Certes vous pourrez voir l'image volumique que vous avez créée précédemment dans l'espace 3D mais celle-ci sera visualisable que sur une petite partie de vos lunettes. Elle le sera en dehors de votre axe de vision dans la bouche de votre patient, pour ne pas vous déranger et ne pas occulter votre champ de vision. Pourtant il existe un dénominateur commun entre cette reconstitution spatiale 3D virtuelle (dans le coin de vos lunettes) et la vue que vous voyez, en réel, dans la bouche de votre patient : c'est à nouveau la surface des dents. Cette surface des dents est donc l'élément commun entre la vue RX et la vue endo-buccale que vous observez au travers de vos lunettes RA (et accessoirement l'empreinte optique).

Imaginez maintenant que vos lunettes à réalité augmentée portent une, ou mieux, 2 caméras capables de numériser en temps réel la surface que vos yeux observent dans la bouche de votre patient et qu'elles soient capables de le faire en respectant l'angle de vue de votre regard. En utilisant le même concept de fusion que vous avez mis en action dans l'étape précédente, et en vous appuyant sur cette zone commune représentée par la surface externe des dents, vous pourrez de la même manière réunir en un seul objet la surface des dents que vous voyez dans la bouche et le fichier RX 3D issu de la première numérisation des contours osseux et des formes sous gingivales. Vous n'aurez plus qu'un seul fichier incluant la partie sous gingivale et la partie visible dans la bouche de votre patient. Le fichier commun, le dénominateur commun, étant la surface des dents, vous pourrez visualiser directement dans la bouche de votre patient la fameuse dent incluse, les zones cariées et la crête prête à accueillir les implants. Vous pourrez même voir les trajets nerveux et sanguin ou les déplacements des instruments canalaires dans les racines ou rotatifs durant la réalisation des préparations (proximité pulpaire).

La phase finale sera d'y adjointe des références esthétiques, en couleur, et vous aurez une image complète, 3D, sous gingivale et esthétique, directement dans la bouche du patient.

C'est aussi cela l'apport du numérique à la dentisterie et l'esthétique...

AO Paris 14 janvier

**La nouvelle donne conventionnelle,
le poison d'avril**

— AVEC ELIE ATTALI —



Lieu : GACD, 25 rue Bleue, Paris
Attention, places limitées,
inscriptions en ligne
aonews-lemag.fr/ao-paris/

Première soirée AO Paris Jeunes



Alpha Omega Paris Jeunes
vous invite

Mardi 22 janvier 2019
à partir de 19h30

AMPHITHÉÂTRE SO4
Faculté de Chirurgie Dentaire de Paris V
1 rue Maurice Arnoux • 92120 Montrouge

RECOUVRIR UNE DÉNUDATION RADICULAIRE :
MYTHE OU RÉALITÉ EN 2019

D^r Marc DANAN

MCU-PH-MV
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition
Membre de la Société
Française de Chirurgie
des Tumeurs à la Gencive
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition

D^r Xavier BENSAID

MCU-PH-MV
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition
Membre de la Société Française
de Chirurgie de la Dentition

CONFÉRENCE
GRATUITE

MEDIT i500 distribué par LABOCAST3D

La première caméra intra-orale couleur
hautement fiable et largement accessible !



Performante

adaptée à la prise d'empreinte
pour Inlay core



Confortable

sans poudrage



Précise

détectations des limites
des préparations et
prise d'occlusion exacte



Rapide et fiable

prise d'empreinte fluide
et sans interruption



Complet

ordinateur portable
compris



Libre

système 100 % ouvert,
sans licence

Une innovation Medit Company,
leader mondial du scanner 3D industriel

20 280 € TTC

Ordinateur portable compris

+33 1 53 38 64 68

labocast3d@labocast.fr | 146-66, rue des Orteaux | 75020 PARIS | www.labocast.org

LABOCAST 3D

Modern Dental Group

AO NEWS#023 | SCIENTIFIQUE



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

The image shows the front cover of a magazine issue. The title 'aonews' is at the top left, with a circular logo containing a stylized 'A'. Below the title, there's a red banner with white text that reads 'Le magazine dentaire mondial'. To the right, a circular badge indicates 'FRANCE DECEMBRE 2018 #023'. The central feature is a large, bold title 'La CFAO à la Faculté de Montpellier' overlaid on a grid of various dental models (teeth and implants) in different colors (yellow, orange, pink, blue). The background of the cover is light gray.

La CFAO à la Faculté de Montpellier

* CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

The contribution of digital technology to dentistry and aesthetics: the inventor's point of view



François Duret
Elisabeth Duret
Bruno Pélissier
Montpellier

The subject is not short of ambition in 2018: it has a kind of fragrance of the past (Fig.1), I will go so far as to say that it becomes "pleonasm" because how to dissociate in a modern world, dentistry, aesthetics and digital. Until 1970, was only associated with dentistry, the Art with a big A. Today, science, with the digital technology in the frontline, makes a sensational entrance and it's good for those who love our job. That is why we have to step back before talking about it. That's what we're going to do a little bit, with you.

Staying firmly in our ancestral position that led us to believe that our craft was more art than science, led us to miss the first digital revolution of the 1950s. It was not until the early 1970s that some wacky people dared to ask the question: why not going beyond the action field arbitrarily established in our university studies, and analysing, or even integrating digital technology into our daily practice?

The question was audacious, the answer was even more so. What

Digital has gradually virtualized our clinical practice



Fig.1: Part of the CAD / CAM museum and the first known system (HENNSON).

should only be a tool replacing the repetitive practice of certain acts, especially in our prosthetic acts, has become a clinical and even general conceptual aid in our discipline. **Gradually, digital technology has virtualized our clinical practice** and today those who never use it are very rare. Virtualized, the word is dropped and it will accompany us till the end of this article. This is first of all what it is: the digital technology

virtualizes more and more our daily practice and this virtualization, so important today, was born from the possibility of scanning, digitizing, to bring the digital technology to dentistry. This is the founding act of the question we ask ourselves today: "The contribution of digital

technology to dentistry and aesthetics".

This contribution allowed to digitize by measuring the surfaces on which we intervene. Our job is to model, enrich or correct visible surfaces (or not). Doing it on the surface itself, as real as a model or tooth in the mouth, has been the founding act of dentistry forever. As this is our field of work, to use the digital technology, we first had to be able to digitize this surface. The thing was not simple because, unlike a cube or a sphere in mechanics, dentistry only offers us complex surfaces, we speak of "skewed surfaces"

We did it thanks to the optical impression which from a real, analogical information, transmits us



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

a virtual, coded and digital information. It only remained to us to treat it, and, if that was not the most difficult, it was certainly the most exciting. Think about it, transforming our daily gestures, our mandibular movements, our crowns according to the materials ... into equation. It is undoubtedly this key position that explains why we often reduce computer-assisted design, even the realization of analyses or the manufacture of prosthetic parts, to the optical impression.

Teeth are no longer objects that one touches physically (and even, in a short time we could physically touch these virtual objects) but a set of more or less close points taking place in space. The optical impression aims to measure the position of these points regarding to a common reference (as the base of our plaster model). Moreover, for a person who digitizes surfaces, the comparison between the atoms constituting the external border of a mechanical part, and the points measured by the optical impression on the surface of the tooth, is obvious. The surface of the mechanical part consists of points that are measured as those measured on our teeth

If we even want to go further in our "numerical" reasoning, these mechanical border surfaces are actually made up in the infinitely small by atoms huddled together. The points in this "sub-microscopic" world can therefore be confused with the atoms of matter itself and all the laws associated with this (quantum ...) If we now imagine a hyper-precise intra-oral IOS camera, we will be able to find a number of

identical points, the real external atomic border surface of our teeth and gums to which we can apply the same laws, as for example the quantum laws of the new physics. For me, the future of dentistry lies there, in this universal dynamism masters, but this is something else that is difficult to pass on.

Therefore, thanks to the digital technology, our job is switching, slowly but surely, in the world of new physics and its associated rules. It will also allow us to configure our diseases and virtualize their evolution ... What a fascinating view we offer this small simple act of measuring with a camera a small tooth area!

But let's go back to the reality of the moment. Behind this digitization appear the computer and all its associated values. The fact of having measuring points of dental surfaces in space, known from the beginning of the 80s, (Fig. 2 and 3) and that these measurement points are coordinate figures (xyzt), allowed us to bring dentistry into the computer world. We were no longer amateur

accountants using accounting software for accountants, but dentists using software for dentists.

The surface of the tooth was numerically defined and in space measured; so we could have it processed by numerical computing units (digital to be Anglo-French) that we can call computer and benefit from all that is available in this computer world. And fortunately, digitalization has allowed us to free ourselves from the object itself, but also to apply new treatments to it, with respect, or not, old methods. Digitization has made it possible to update, in a modern world, what we were doing with outdated tools and even to apply new methods or new therapies that were not even conceivable (or even thinkable) with our old tools.

It seems to me interesting and funny, at this moment, to give you two concrete examples comparing the old analogue clinical methods from the past and those from digitization.

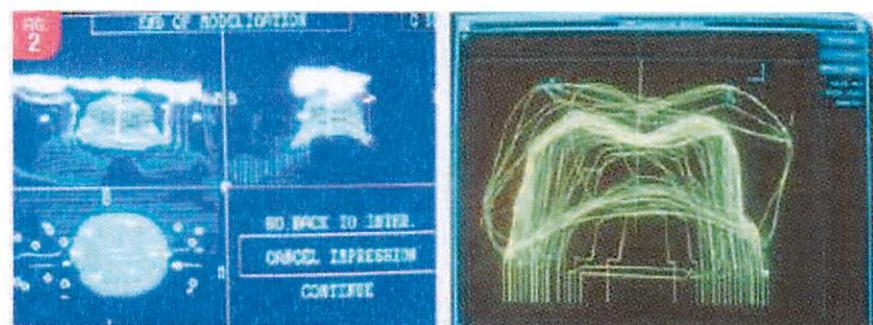


Fig.2: In surface points and Bezier curves modelling, 1986



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

The first is the example of the plaster model: At first glance, we might think that the digitalization of

contribution of the digital auxiliary and enriching the conventional method without changing its

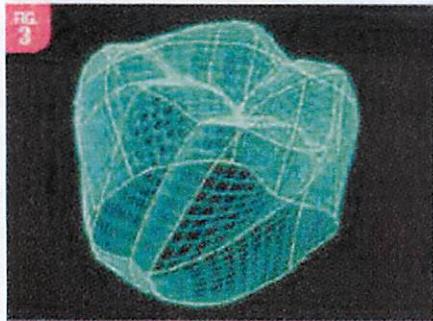


Fig. 3: Surface and aesthetic representation in 1985

the plaster model is obvious; it is only a question of switching, thanks to the scanner, from a real model to a virtual model. This is a narrow vision. As a computer scientist-dentist, we very quickly understood that a model in plaster is neither more nor less than a kind of storage of information in a real and palpable form. **This is the USB key of old times. Today, storing the model in digital form using a scanner on a USB key is an act similar** to casting the real model in plaster, but the purpose or the result is very different. In both cases, it is a memorization of the shape of the mouth. **In the first case, it is a non-reproducible**, fragile and non-evolutive model (tooth movements in orthodontics or periodontology). It is only an "instantaneous and short-timing memory", while in the other case it is an accessible memory (RAM) reproducible to infinity and storable in an infinity of identical units that can be modulated but can always return to its original state.

Two surface memorizations, two different availabilities. Here is a concrete example of the

purpose.

The second example does not relate to measurements of surfaces but to analyses resulting from measurements of transparency of the material. All digital radiology systems ranging from scanner to cone-beam to our RVG sensors are transparency material meters. In computer science, we no longer speak of "surface modelling", or surface measurement, but of "solid modelling" used by my Hennson team in the first tooth modelling made using Matra's Euclid software.

Viewing an X-ray does not mean that it is scanned. Seeing an X-ray on a screen dates from well before the first computers. The first dental radiology systems, like the first

Two surface memorizations, two different availabilities

Cerec, were not digital but worked in analogue. Scanning was not necessary for viewing and it was expensive.

Everything could have been analogue without conversion for the digital world. However, it is the digital processing that has given all the power to this technology. Firstly, the 3D representation of the "radiographic" material allowed to mount virtual models with internal forces "in finite elements" reproducing the internal tensions in the bone, much used today in prosthesis but also in implantology and in orthodontics. We can visualize the effect of a force applied on the tooth, on the bone or on a prosthesis to analyse its behaviour and persistence. This also led to some famous mistakes when we wanted to associate the gray levels of digital radiology with pathologies and to associate "false colors" with them. This is another story...

These two virtual models today converge on a single object that combines the invasive X-Ray image

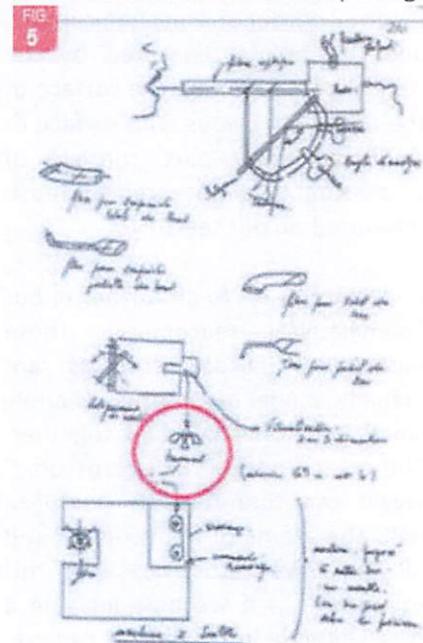


Fig. 5: Impression and telemedicine in 1973, demonstrated with imagination of internet before its real existence



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

with the more accurate surface image. About ten years ago, this practice became widespread and mainly in implantology and orthodontics. It is essential in implantology because it allows to virtually position implants, to simulate the positioning but also to machine the insertion guides in real time.

In orthodontics, it allows, certainly, to make trays but also to simulate the treatment according to the forces applied and applicable to achieve the objective; but above all, unlike analogue methods, to visualize in an extremely precise manner the moment of a possible drift (and its bony consequences). Historically, digital technology addressed orthodontics, not as a surface modeler, but as a data manager. Burston used it to clarify and... classify thousands of

ignored or even unwelcome in the 1970s by the university authorities, it was the presentation of 1983 to the Garancière that allowed him to impose and transform the prosthetic act thanks to the pressure and interest of dentists.

From the very beginning, CAD/CAM profoundly changed the dental world; not because it was technologically complex, but because, in this complexity, it had been conceived in a spirit respecting the scientific knowledge of our profession since its origin. It was therefore hardly destructible, except through the state of the art techniques of the time.

CAD / CAM gives the practitioner the choice of its material.

First, what was most interesting for the scientists of the time (including

to the medicine the artificial intelligence (in any case it was the first, in dentistry). Indeed the AI (Artificial Intelligence) is characterized by the inclusion of a consideration, in an automatic or semi-automatic process or of a human know-how, during the realization procedure of a robotized act, in general. **Dental CAD/CAM measures a preparation and produces a crown. There is therefore a difference between the data inputs, in the chain, and the data used at the output. It is precisely the purest definition of AI.** We did not realize this immediately because it seemed so obvious to us...

The second interest was the fact that, to the conventional industrial CAD / CAM chain (data design by graphic table, manufacturing by machining, all of this computer assisted or CAD/CAM), was added a new entry of the automated data with automatic analogue/digital conversion or "optical impression" (that's why I chose this thesis title). Dental CAD / CAM proposed to go further than conventional industrial CAD/CAM. This difference allowed dentistry to deal with daily experienced complex data (skewed and radiological surfaces), using CAD / CAM systems whose software applied the artificial intelligence rules.

Suddenly, we would be able to equate all our knowledge without any selective spirit, the equation being all the more complete as all hypotheses were retained. It was also enriched by feedback and, as a result, offered the first expert system in medicine and dentistry. Finally, it draw attention of the

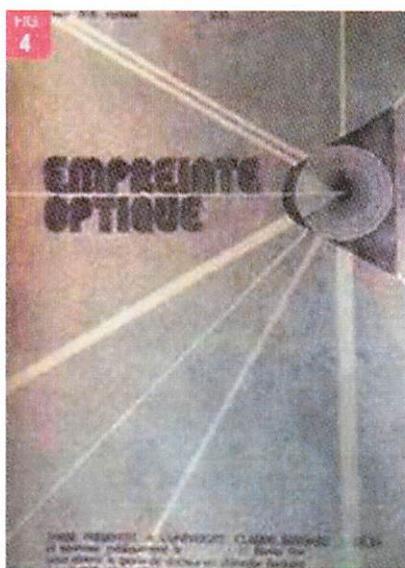


Fig.4: Theses on CAD / CAM dental in 1973 and on CAD / CAM aesthetics, in 1999

cephalometric data in the late 1960s. Between 1971 and 1973 emerged the dental CAD/CAM (Fig. 4).

the MIT) and, by implication, the dentists, was, that it was undoubtedly one of the first systems, if not the first one, applying



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

communication specialists because, for the first time, it described internet (well ahead of time) and telemedicine, associated with major centres (Fig. 5).

All this was brought by digital technology to dentistry (and to medicine by implication...) and is still currently used every day. The consequences of this digitization did not take long to come and almost all was described and invented in France (hence a certain "jealousy" still perceptible in some national and international articles obscuring the origin of ideas and achievements). The first was the automation of the theoretical tooth libraries used to produce the external shape of the future prosthesis (Fig. 6).

While the virtual dilation of the preparation advantageously replaced the imprecise and random "die spacer", the external part finally relied on anatomical and scientific criteria, far from the own experience of the practitioner. Creating the external envelope of a prosthesis is a complex act associating the genetic origin of the patient, the mechanics of the materials, the physics of the contacts, the respect of the harmony of arches, and of course the aesthetics of the renderings (including shape and color). It is obvious that the empirical approach could not include all of these factors, and that it was only the "artistic" experience of the creator that made up for it. I will go so far as to say that the greater the practice, the greater the risk of hiding one of these factors.

From the start, CADCAM put everything on the table with

standard but individually adaptable files. For each prosthesis realization an outer shell shape is proposed (memorized theoretical teeth), with simple and clean tools allowing everyone to put their personal touch.

Each factor has been numerically taken into account, some examples.

Genetics is both included in the basic form, stored in the computer's memory but also in its primary adaptation regarding teeth present in the patient's mouth. Every day new libraries are proposed. Thanks to CAD / CAM, the mechanics of digitally processed materials followed, from the beginning, two unexplored paths in conventional dentistry. The first way was the creation of machined blocks whose

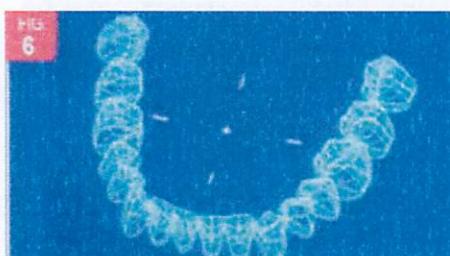


Fig.6: Arch of memorized theoretical teeth



Fig.7: Aristée, 1st oriented and structured heterogeneous dental material



Fig.8: Access Articulator

mechanical characteristics were mastered and which, due to no state modification, retained their "factory" qualities when the prosthesis was placed in the mouth (machining by material removal). The second way was the machining of oriented and structured heterogeneous materials (Fig. 7) similar in all respects to a natural tooth (with oriented fibers such as collagen, fillers and binders). Machining made it possible to observe the orientation of the fibers and the Aristée (such was its name) opened a new revolutionary path unfortunately stopped, temporarily, by the premature wear of the surfaces.

Digital's second revolution in dentistry is about diagnosis

And we are not talking about additive methods... "Darling" of modern dentistry.

The Physics of Contacts was already a privileged field of "mathematicians dentists" but the complexity of the construction of occlusal surfaces



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

The digital will open two new paths, one being the robotic clinical act and the other the clinical act under augmented reality

around telemedicine, a real pipeline of medical data. The purpose and function of these transfers is to seek the opinion of specialists (it is the pure transmission of data for analysis) but also to deport all or part of the processing chain. For example in dental CAD / CAM, the chain can be relocated to a prosthesis laboratory or to another dental office. Thanks to STL or PLY format files (kind of STL containing, in addition, the colour information) (Fig. 10). The manufacturing chain can temporarily pass through the laboratory.

In the past, our work was sent to the laboratories as a plaster model and only came back as a finished prosthesis. Today there are many solutions brought by the digital technology:

- The optical impression and its digitization (A / D conversion) are carried out in the office (or laboratory) and the prosthesis returns when it is finished. The treatment between impression and implementation is extremely fast, financially controllable and very comfortable for the patient. This act is even faster because the chain can be totally in the dental practice (direct CAD/CAM);

- The optical impression is performed in the dental practice and in real time controlled by the laboratory (parallelism, undercut, space for the material ...) which allows a correction during the preparation. There is a continuous cooperation between the dentist and the prosthodontist;

- The optical impression is performed in dental practice and CAD / CAM in the laboratory (thanks to the STL files transmission). Once modelled, the prosthesis returns to the dental practice, in the opposite direction but in the form of a file that can be interpreted by a machine tool located in the dental practice (not in real form) and it is the prosthodontist who remotely controls the

data transmission by satellite. Information for remote diagnostics or 2 or 3D images is sent from an inaccessible region. It allows its analysis and processing by distant but highly specialized teams via space transmissions. The return can be done on machine tools located in these poor areas. It is an extraordinary humanitarian dimension of digital technology applied to our profession. Thus we can see that the transmission of 2D or 3D images has very particular and very varied aspects radically transforming the "centralized" view of our exercise.

The other factors of the digital revolution are accuracy and speed. Historically, it is the lack of control over dimensional variations, and therefore accuracy in our clinical acts, which led to our digitization of data. We knew nothing about the "metric" dimensions of the object we were working on and whose information passed from body to body. We had no idea of its volume variations. We called this "dimensional variation" (impression paste / plaster / wax / coating cylinder / casting ...). We managed to compensate for them by random and empirical actions.

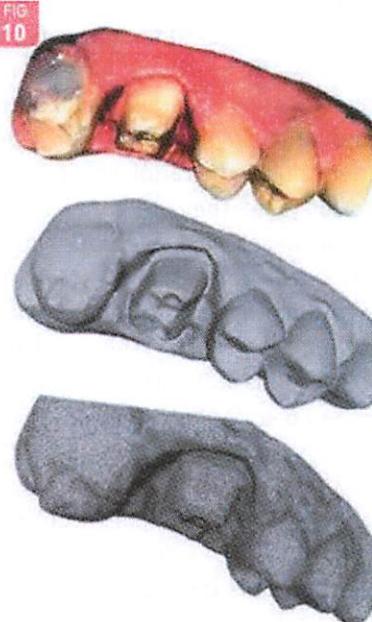


Fig.10: STL, PLY images and mesh obtained by optical impression with the Condor camera

machining for the final realization;
- Finally, but this is not the last possibility, probably while being the most important, we can imagine the

Digital technology has changed everything scientifically addressing the rules governing resolution and accuracy. This was also done by stating the scale we had to work in. The accuracy was no more only related to the quality of the operator but also the performance of the tool used. Regarding speed, nothing else to add to what has been said and many times repeated. What matters



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

required on the one hand to be confined to a theory or practice (functionalism, gnathology... swinging side...) and the manipulation of the face bow was prohibitive and reserved for an elite. Digital technology made practitioners understand that a 3D surface, composed of the surface points we were talking about at the beginning of this article, could move in space and that at each known point in 3D space (xyz) could be associated a fourth dimension, that of movement (xyzt). Everything became clear and surface modelling became a simple and fast Boolean subtraction, provided you have the analyser. The first was, again, French and the 3 diodes and 2 cameras of the Access Articulator did the rest (see the work of Doctors Jean Pierre Toubol and Fabienne Jourdan) (Fig. 8).

If the harmony of the arches went through the detection of furrows and ridges, act made easier as the first CAD / CAM systems worked in "mathematical morphology, here again the digital technology ... it remained to master the aesthetics. At this level the digital technology did and still overstep all normal bounds. First, at each point of the surfaces (still our famous points) was associated a 5th dimension, the colour itself divided into three sub-values of spectro-colorimetry in the shade-master of Bertin (chroma ... and not the RGB of the Colorimeters). Then the digital technology drifted towards the aesthetics of the volumes by associating both the shape of the faces and the shape of the teeth. A real business of devices gradually

arrived in the dental market, aiming to virtually create the patient's future teeth on his 2D (and then recently in 3D) face photographs. Real little tool for selling... aesthetics but meeting a fundamental need in the patient-practitioner relationship. It was about reproducing and adapting technologically what existed in clothing, since the 1970s, thanks to the laser (the US military had developed a laser system that automatically calculates the stature of its soldiers to tailor their uniforms in real time).

More interesting, but this is only my opinion, was the idea launched by our team in the 80s, which consisted in memorizing and putting on laser map (the USB key of the time - Fig. 9) all the teeth in 3D, as well as the arches, the shades and the mandibular movements, of each patient during the adolescence, that is to say when they are not too worn out. If necessary, everyone could then transmit them to the practitioner in the future and / or in another place. This digital application is still better than an old chipped B & W photograph!

The second revolution brought by digital technology in dentistry concerns the diagnosis. This contribution is particular because it bears both, as we said, on imaging but also on data transmission. Regarding imaging, the exploration of images allows to reach levels of analysis never reached by conventional methods. Without digital technology, there would have been no scanner, cone beam or MRI. This contribution led to a profound

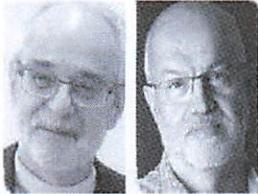
revolution in implantology. It is impossible today to practice this act without going through a fine and precise analysis of the bone environment and to have a good virtual visualization of the implant with its prepositioning before performing the surgical act. True companions of the most complex interventions, digital processing and reconstitution have gone well beyond the limits that no one could have imagined 20 years ago. Yet it is not mandatory to go through 3D reconstruction to take full advantage of digital dentistry. A simple, digitally processed 2D view already offers original views of the real state of hard or soft tissues. Moreover, playing on the dental tissues scanning wavelengths and using a



Fig.9: Laser cards of the 80s

digital decoding, it is now possible to visualize in real time the state of the tissues. This original application has led to some very interesting applications, such as the detection of dentinal or carious tissues with the Soprolife® camera.

Regarding data transmission, digital technology is becoming increasingly important especially in medicine and dental prostheses. A whole industry of secure storage (controlled by the CNIL, French supervisory authority) and data transmission is developing



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélassier

to us today is to be aware that by removing repetitive tasks it frees us up time, so the speed allows us to devote more time to the medical analysis of our patients, the very essence of our professional existence.

This leads us to talk about the (near) future. **Digital technology will open two new paths, one being the robotic clinical act and the other, the clinical act under augmented reality.** The first, the robotic act, will not emerge immediately because it assumes precise control of the movements of a complex material, its miniaturization and the control of its cost.

Yet it has been proven in surgery for a few years. The robotic act is more precise and reduces the operator's fatigue. So there is no reason for that to happen someday in dentistry. Digital technology is that too, we have to accept it. If we do not, others will do it for us.

The second, the clinical act under augmented reality, can emerge faster because it does not involve the use of complex equipment and involves existing products on the market. Finally, we come to the part that occupies all our thinking today, that of the strictly dental augmented reality. Augmented-reality is characterized by the enhancement of the vision of the operator during his diagnosis and / or his clinical action. First, it was a simple video appearing in the working field thanks to special glasses. But it is preparing to give the clinician far more services. This is the research subject of my team today. We will present it to you as if you were using it now.

Imagine: your patient arrives at the dental practice and you examine him or her. Immediately you notice cavities, an included tooth and an area suitable for implant placement. Using the AR (Augmented Reality) tool, you ask your patient to make a Dat-com file (no matter the file type) of his/her mouth and thus of his/her bone environment. He/she comes back with his/her 3D model, from the XR optical impression (because using X-rays as a wave vector of analysis) including the maxillary and all that is invisible to the eye, in the mouth, because under gingival: bone contour, included tooth position, bone crest position for implants, nerve and blood paths, roots and apex ...). You then have a capital 3D information but directly invisible in the mouth unless you watch a radiograph permanently (and still). The digital technology (3D reconstruction, discretization of the sub-gingival components ... transmissible and exploitable files) hit a new first time.

You then make an optical impression of the outer surface of the mouth using the IOS (Intra-oral scanner) of your choice. The digital technology hit a second time. The digital technology hit a second time. This is not necessarily a mandatory step and you can go directly to the third step but it seems interesting to describe it. This time you have two files, one sub-gingival, and the other sus-gingival. The common point between these two files is the stable and rigid surface of the teeth. This area is called the correlation area. If you merge these two areas you will not only have a 3D object with a moderately precise internal part

(sub-gingival) and a very precise supra-gingival external part. You can move this newly created object with the inner and outer part of the mouth, visualize and analyse in space, thanks to your augmented reality glasses.

Let's move on to the third stage, the most interesting and probably as innovative as when we introduced the optical impression and CAD / CAM in dentistry in the 1970s. You keep your Augmented-Reality glasses and you really look inside your patient's mouth. You will see the teeth (not surprising!), But obviously you will not see what is under the gum, such as bone or roots.

Of course you can see the volume image that you previously created in the 3D space but it will be viewable only on a small part of your glasses. To not disturb you and not obscure your field of vision, it will be outside your viewing angle in the mouth of your patient. However, there is a common denominator between this virtual 3D spatial reconstruction (in the corner of your glasses) and the view that you have, in real life, in the mouth of your patient: again, it is the surface of the teeth. This teeth surface is therefore the common element between the XR view and the intraoral view that you observe through your RA glasses (and incidentally the optical impression). Now imagine that your augmented-reality glasses have one, or better, two cameras that can scan in real time the surface that your eyes are observing in your patient's mouth and that they are able to do it in the right angle of your eyes. Using the



CAD / CAM AT THE DENTAL FACULTY OF MONTPELLIER

François Duret, Bruno Pélissier

same concept of fusion that you put into action in the previous step, and relying on this common area represented by the outer surface of the teeth, you can similarly bring together in a single object the surface of the teeth that you see in the mouth and the 3D XR file from the first digitization of bone contours and sub-gingival forms. You will only have one file including the sub-gingival part and the visible part in the mouth of your patient. The tooth surface is the common file, the common denominator, you can see directly in the mouth of your patient the famous tooth included, the decayed areas and the crest ready to receive the implants. You can even see the nervous and blood paths or the movements of the canal instruments in the roots or rotating during the manufacture of preparations (pulpal proximity).

The final phase will be to add aesthetic references, in colour, and you will have a complete picture, 3D, sub-gingival and aesthetic, directly into the patient's mouth.

That is also the contribution of digital technology to dentistry and aesthetics...