

L'organisation du flux numérique en dentisterie

C. SCHNEIDER, G. FINELLE, G. O GALLUCCI

Management of the digital stream in dentistry

C. SCHNEIDER. Pratique privée. Post-graduate Oral Implantology, Harvard School of Dental Medicine. Attachée hospitalière en parodontologie, hôpital Bretonneau-Paris-V. Fellow ITI (International Team for Implantology). G. FINELLE. Exercice privée. Post-graduate Oral Implantology, Harvard School of Dental Medicine. Attaché hospitalier, hôpital Charles-Foix (Ivry-sur-Seine), consultation d'esthétique. Fellow ITI (International Team for Implantology). G.O GALLUCCI. Chair, Department of Restorative Dentistry and Biomaterials Sciences at Harvard School of Dental Medicine. Fellow ITI (International Team for Implantology).

La « révolution numérique » est une formule qui fleurit désormais aussi bien dans les revues odontologiques que dans les congrès. Pour autant, force est d'admettre qu'avant d'intéresser le monde de la dentisterie, cette révolution numérique a bouleversé – et depuis plusieurs décennies déjà – notre quotidien.

Si l'illustration la plus visible de l'explosion du numérique reste les technologies de l'information et de la communication (TIC) – smartphones, tablettes, Internet... –, le numérique a d'abord révolutionné les mondes de l'industrie, de l'ingénierie aéronautique et du médical.

Dans les années 1960, l'industrie mécanique est la première à s'être équipée de logiciels permettant non plus de réaliser un dessin ou une simple représentation graphique 2D d'une pièce (dessin assisté par ordinateur, ou DAO), mais de créer virtuellement cette pièce en 3D et de la tester avant de la produire. Ainsi, outre la modélisation numérique, ces logiciels permettent la simulation des comportements de la pièce et donc sa validation avant fabrication. La conception virtuelle de cet objet aboutit à une maquette numérique appelée « modélisation 3D », qui est alors un véritable prototype virtuel entièrement créé et testé par le logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO).

Une fois validée, la maquette numérique obtenue est exportée dans un fichier intermédiaire ou directement lu par un logiciel de fabrication assistée par ordinateur (FAO). Ce logiciel établit le programme qui dictera les mouvements que devront exécuter les machines-outils à commande numérique pour la fabrication physique de la pièce.

The "digital revolution" is a blooming expression, often read in odontological reviews and heard in congresses. However, before reaching the world of dentistry, this digital revolution has been changing our daily life for several decades now.

If the most obvious illustration of the digital technology boom remains the information and communications technology (ICT) (cellphones, tablets, the Internet, etc.), it first started changing the industrial, the aeronautical engineering and the medical sectors.

In the 60s, mechanical engineering was the first sector to use softwares allowing more than simply make a drawing or a mere 2D graphical representation of a part (computer-aided design or CAD), since they also allowed to virtually create this part in 3D and to test it before manufacturing it. Besides digital modeling, these softwares allow to simulate the behavior of the part and thus to validate it before manufacturing. The virtual design of the object generates a digital model called "3D modeling", which is an actual virtual prototype that was completely created and tested by the computer-aided design (CAD) software.

Once validated, the digital model is then exported into an intermediate file or directly read by a CAM (computer-aided manufacturing) software. This software creates the program which will dictate the movements that the digitally operated machine tools will have to reproduce in order to physically manufacture the part.

La conception-fabrication assistée par ordinateur (CFAO) est donc le procédé qui permet, à l'aide d'un système automatisé, de concevoir et de programmer la géométrie d'une pièce à usiner (CAO), et de réaliser les différentes opérations d'usinage afin d'obtenir *in fine* une pièce conforme au dessin de départ (FAO).

L'intérêt de ces technologies dépasse évidemment le simple cadre de la mécanique. Notre capacité, aujourd'hui, en science médicale, à importer une situation clinique existante pour la visualiser (à des fins diagnostiques par exemple), et bien entendu modéliser puis concevoir un traitement prothétique donne de nouvelles perspectives à notre exercice.

Et, fort heureusement, la dentisterie n'est pas en reste. Pour autant, cette « dématérialisation » d'un certain nombre d'étapes ou de supports dans notre pratique suscite une multitude d'interrogations sur l'articulation de ces technologies avec l'« art dentaire » tel que nous le connaissons.

LA TECHNOLOGIE CFAO

En 1973, François Duret propose d'appliquer le concept de la CFAO à la dentisterie (Duret, 1974). Sa thèse sur l'empreinte optique a pavé le chemin de l'évolution de la CFAO jusqu'à aujourd'hui. Et depuis une dizaine d'années, l'utilisation du CBCT, les empreintes et modèles digitaux, les reconstructions réalisées en CFAO, etc., se sont immiscés petit à petit dans le flux de travail de notre exercice. Tout l'intérêt (espéré) de ces technologies réside dans le gain de précision, de prédictibilité et de temps.

À la différence de la CFAO appliquée dans d'autres disciplines, celle utilisée en dentisterie ne crée pas un design 3D de toutes pièces. En effet, il s'agit d'abord de récupérer les données physiques du patient. Cette première étape est donc une étape d'acquisition des données cliniques à l'aide d'un arsenal de scannage, qui permettra de transformer ces données physiques en données virtuelles, enregistrées au format STL (fichier ouvert) ou calquées sur ce format, mais dont l'accessibilité est restreinte (fichier fermé).

Une fois les données cliniques importées dans l'ordinateur, les étapes ultérieures suivent le schéma classique de la CFAO. Les données virtuelles sont intégrées dans le logiciel de CAO et permettent la modélisation de la pièce. La maquette modélisée est ensuite exportée vers un centre de production (FAO), dont la ou les machines sont directement contrôlées par ordinateurs.

Le transfert des informations entre les différentes unités de la CFAO dépend du format avec lequel sont enregistrées ou transférées les données. Aujourd'hui encore, deux systèmes cohabitent :

- les systèmes dits ouverts : le fichier émis après numérisation est un fichier neutre et universel, codé au format STL. Ce format numérique peut donc être lu par tous les systèmes numériques présents dans la chaîne CFAO. La communication entre tous les outils de CAO et FAO est permise. Le praticien est, par exemple, libre de choisir son centre de production, indépendamment de son logiciel de CAO et de la marque de la caméra optique utilisée ;

CAD-CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing) is thus the process which allows, using an automated system, to plan and design the geometry of a workpiece (CAD), as well as to perform the various machining operations in order to eventually obtain a workpiece that is adequate with the initial drawing (CAM).

The interest of these technologies goes obviously beyond the mechanics sector. Today, our ability in medical sciences to import an existing clinical situation in order to visualize it (for diagnosis purposes for example), and then to model and perform a prosthetic treatment offers new perspectives to our practice.

Very luckily, dentistry has not been left behind. However, this "dematerialization" of some stages or supports in our practice arouses many questions about the use of these technologies in "dental art" such as we know it.

THE CAD-CAM TECHNOLOGY

In 1973, François Duret suggested applying the CAD-CAM concept to dentistry (Duret F, 1974). His thesis on the optical impression has paved the way of the evolution of CAD-CAM until today. For a decade, the use of CBCT, digital models and impressions, the reconstructions performed with CAD-CAM, etc. have progressively integrated the working flow of our practice. The (expected) interest of these technologies lies in greater accuracy, higher predictability and time-saving.

Unlike the CAD-CAM used in other fields, the one used in dentistry does not create a complete 3D design. Indeed, the patient's physical data must first be collected. This first stage consists in gathering the clinical data with several scanning tools, which will allow to transform these physical data into virtual data, recorded in the STL format (open file) or modeled on this format, although with a restricted accessibility (closed file).

Once the clinical data have been imported into the computer, the following stages are similar to the standard pattern of CAD-CAM. The virtual data are integrated into the CAD software and allow the modeling of the part. The digital mock-up is then exported to a manufacturing site (CAM) fitted with one or several machines that are directly controlled by computers.

The information transfer between the various units of CAD-CAM depends on the format with which the data are recorded or transferred. Today, two systems still coexist:

- The so-called open systems: the file obtained after digitization is a neutral and universal file, coded in the STL format. This digital format can thus be read by all the existing digital systems in the CAD-CAM process chain. The communication between all the tools of CAD and CAM is possible. For example, the practitioner is free to choose his production site, regardless of his CAD software, and the brand of the optical camera.*

– les systèmes dits fermés : le format numérique du fichier est propre au système de CAO utilisé et ne permet donc pas la communication avec d'autres logiciels de CAO.

Ainsi, l'opérateur est contraint à utiliser un seul et unique système de CFAO : le lien entre scanner, CAO, et FAO n'est possible qu'avec les modules d'un même système. Les fichiers sont donc spécifiques à chaque système et ne peuvent être lus par les autres.

Derrière une stratégie marketing indéniable, il y a aussi la volonté de contrôler la qualité de toute la chaîne numérique, ce qui est plus facile à garantir par le fournisseur lorsque le système est fermé, c'est-à-dire lorsqu'il est le seul à gérer les fichiers numériques. Cependant, de plus en plus les sociétés tendent à ouvrir leurs fichiers au format STL.

D'un point de vue technologique, la chaîne numérique comprend donc trois étapes qui se succèdent, dans cet ordre (fig. 1) :

- acquisition des données virtuelles ;
- modélisation sur logiciel CAO ;
- fabrication ou FAO.

– The so-called closed systems: the digital format of the file is specific to the CAD system and thus does not allow any communication with other CAD softwares.

Consequently, the operator can only use one CAD-CAM system: the connection between the scanner, CAD and CAM can only be made with the modules of the same system. Files are thus specific to each system and cannot be read by others.

Beyond an undeniable marketing strategy, there is also a will to control the quality of the entire digital process; it is easier for the supplier to achieve this goal when the system is closed, i.e when he/she is the only one to manage the digital files. However, more and more companies tend to open their files to the STL format.

Technologically, the digital chain includes 3 stages that follow one another, in that order (fig. 1):

- Collection of the virtual data
- CAD modeling
- Manufacturing or CAM

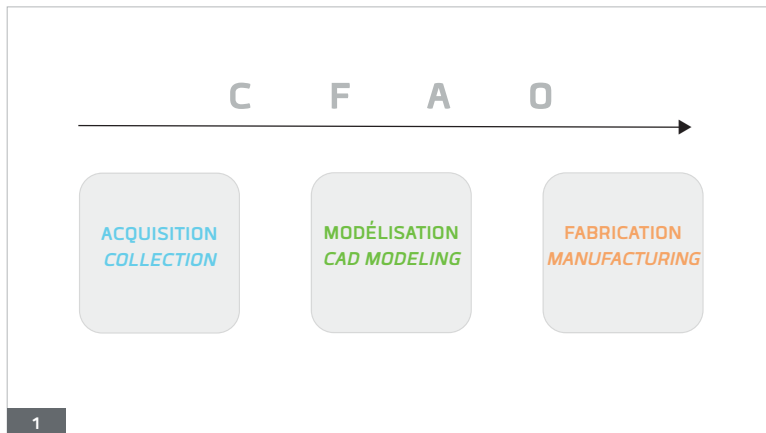
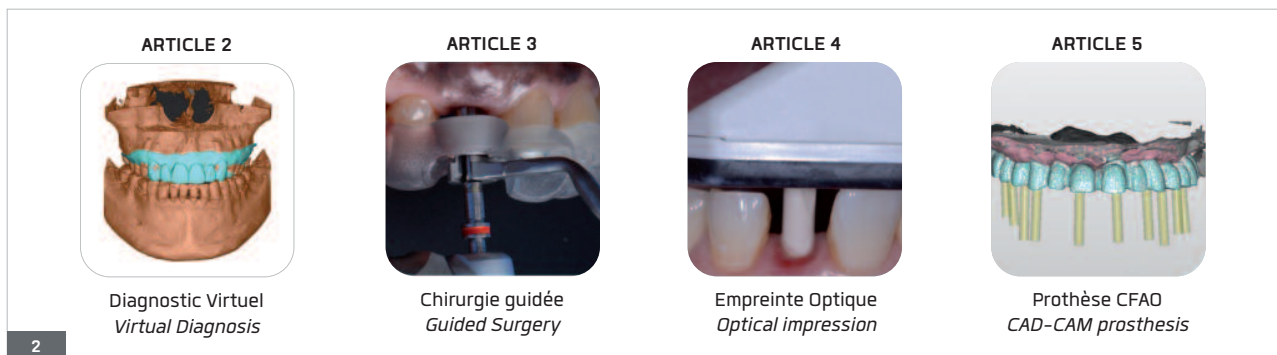


Fig. 1. Étapes de la chaîne CFAO.

Fig. 1. Stages in the CAD-CAM chain.

Fig. 2. Étapes de la CFAO et articles correspondant.

Fig. 2. Stages of CAD-CAM and their corresponding article.



D'un point de vue clinique et dans le cadre d'un traitement implantaire, par exemple, l'enchaînement des étapes se fait de la manière suivante (correspondant aux articles de ce numéro spécial) (fig. 2) :

Clinically, and within the framework of an implant treatment for example, the sequence of steps is performed as follows (this refers to the articles published in this special issue) (fig. 2):

- **Diagnostic virtuel (article 2)** : technique de prévisualisation du sourire dans la réhabilitation du secteur antérieur.
- **Chirurgie guidée (article 3)** : l'apport de la chirurgie guidée par ordinateur dans le traitement des crêtes sévèrement résorbées.
- **Empreinte optique (article 4)**.
- **Prothèse CFAO (article 5)** : l'apport du numérique dans la réhabilitation de l'édenté complet.

Le but de ce premier article est de présenter l'articulation du flux numérique d'un point de vue technologique, afin :

- de comprendre l'utilité et de faire un état des lieux des dispositifs biomédicaux à notre disposition ;
- de présenter les différents acteurs industriels ;
- de comprendre la transmission des données « digitales » dans les différentes étapes de la procédure ;
- d'entrevoir les perspectives d'avenir.

1. ACQUISITION DES DONNÉES VIRTUELLES

L'acquisition des données virtuelles est la première étape dans la chaîne numérique. C'est une étape majeure, puisqu'elle permet la récupération des données physiques du patient pour les convertir en algorithme informatique. C'est l'étape prérequis pour initier le procédé de CFAO. C'est donc d'elle que dépend le reste de la chaîne numérique. Il s'agit ici de recueillir un maximum d'informations sur la situation clinique, que ce soit pour assister la planification, le positionnement de l'implant ou la réalisation de la restauration prothétique.

Les moyens d'acquisition utilisés dépendent de la phase de traitement concernée (diagnostique, chirurgicale, ou restauratrice) (fig. 3).

- **Virtual Diagnosis (article 2)** : Smile preview technique in the rehabilitation of the anterior sector.
- **Guided Surgery (article 3)** : The contribution of bone grafting in the treatment of severely resorbed crests.
- **Optical impression (article 4)**.
- **CAD-CAM prosthesis (Article 5)** : Contribution of digital technology in the rehabilitation of completely edentulous patients.

The purpose of this first article is to present the management of the digital stream from a technological point of view in order to:

- Understand its usefulness and review the biomedical devices currently at our disposal.
- Present the various industrial actors.
- Understand the "digital" data transfer in the various stages of the procedure.
- Take a glimpse at the future prospects.

1. VIRTUAL DATA ACQUISITION

The acquisition of virtual data is the first stage in the digital chain. It is a major step since it allows to collect the patient's physical data to convert them in computer algorithm. It is the prerequisite stage to initiate the CAD-CAM process. As a consequence, the rest of the digital chain depends on it. During this stage, a maximum number of data concerning the clinical situation must be collected in order to help the planning, the positioning of the implant and the manufacturing of the prosthetic restoration.

The means of acquisition vary according to the phase of treatment (diagnostic, surgical, or restorative) (fig. 3).



Fig. 3. Dispositifs d'acquisition des données.

Fig. 3. Devices for data acquisition.

En conséquence, le modèle physique à numériser peut donc être l'anatomie osseuse, les arcades dentaires du patient, une arcade dentaire représentée sur modèle, voire même le visage du patient.

Ces dispositifs d'acquisition de données sont des scanners. En fonction du modèle à scanner, ils peuvent être volumiques (CBCT) ou surfaciques, d'une part ; intra-oraux, de laboratoire ou faciaux, d'autre part. Les logiciels qui interpréteront ces fichiers en images 3D permettent aujourd'hui de faire converger des données issues des différents types de scanners.

Consequently, the physical model to be digitized may be the osseous anatomy, the patient's dental arches, a dental arch represented on a model, and even the patient's face.

The data acquisition devices are scanners. According to the model to be scanned, they can either be volume (CBCT) or surface on one hand, intraoral, laboratory or facial on the other hand. Nowadays, the software that will interpret these files in 3D images allows to merge the data coming from these different types of scanners.

CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY (CBCT)

Le CBCT intervient à la fois comme outil de diagnostic ou comme outil de planification thérapeutique (chirurgie assistée par ordinateur, par exemple). Il procède de l'imagerie par faisceau conique et permet l'obtention de tout un volume en une seule rotation. L'image obtenue peut être reconstruite en panoramique, modèle surfacique ou 3D. La finesse de l'image est conditionnée par la taille des voxels lors de l'acquisition. Le réglage des densités, cependant, ne se fait que par modulation du contraste, ce qui rend l'exploration des tissus mous difficile. Mais si la résolution en densité est médiocre, la résolution spatiale est comparable, voire meilleure, que celle obtenue avec la tomodensitométrie.

Les avantages incontestables du CBCT par rapport au scanner conventionnel sont :

- des doses d'irradiation bien inférieures ;
- la moindre importance des artefacts métalliques.

Les informations numériques obtenues sont au format Dicom (Digital Imaging and Communication in Medicine). Ce format a été créé par les fabricants de l'industrie médicale afin de centraliser les données informatiques issues de l'imagerie 3D ainsi que les informations personnelles du patient qui les accompagnent (nom du patient, date de naissance, etc.).

SCANNER INTRA-ORAL

Le premier scanner intraoral numérique conçu pour dentisterie a été introduit dans le début des années 1980 par le Dr Werner Mörmann, un dentiste suisse, et Marco Brandestini, un ingénieur électricien italien (Brandeslini et coll., 1989).

Les scanners intra-oraux fonctionnent de façon similaire à une caméra, à l'exception près qu'ils disposent d'une technologie sophistiquée avec un capteur optique qui mesure la réflexion de la lumière dans toutes les directions de l'espace, enregistrant le positionnement de l'objet de façon tridimensionnelle.

Cette représentation tridimensionnelle sur le logiciel est permise grâce à un processus d'alignement dicté par un algorithme informatique. Cette étape consiste à relever une multitude de points sur les surfaces tridimensionnelles du modèle. On parle de digitalisation. Ces nuages de points virtuels sont ensuite reliés entre eux. Ce procédé permet l'obtention d'un maillage qui constitue le modèle 3D, réplique virtuelle du modèle physique. Le modèle est immédiatement visualisable sur le moniteur du praticien sur lequel est connecté le capteur optique, et peut être exporté, sous le format STL, dans le logiciel de CAO pour modéliser un élément prothétique, une gouttière orthodontique, un guide chirurgical, un modèle segmenté, etc.

Une quinzaine de scanners intra-oraux permettent aujourd'hui la prise d'empreinte intra-orale au cabinet dentaire (Joda et coll., 2014) (**fig. 4 et tableau 1**). La capture se fait à l'aide d'un dispositif de type caméra portable qui appartient à un moniteur ou bien se connecte directement à un ordinateur par un port USB ou FireWire. Selon les fabricants, les données recueillies peuvent être traitées directement sur un logiciel intégré et utilisées au cabinet ou bien externalisées vers un centre qui dispose d'un logiciel de modélisation adapté.

CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY (CBCT)

CBCT can be used both as a diagnostic tool and a tool for therapeutic planning (computer-aided surgery for example). This cone beam imaging technique allows to visualize an entire volume in one single rotation. The image can be reconstructed in a panoramic view, surface model or 3D. The image accuracy depends on the size of voxels during the acquisition. However, the setting of densities can only be made with a modulation of contrast, which makes the exploration of soft tissues difficult. In spite of the rather poor density resolution, the spatial resolution is comparable, and even better, than the one obtained with computed tomography.

The irrefutable advantages of CBCT compared to conventional scanner are:

- Much lower radiation doses.
- A lesser importance of metallic artefacts.

The digital information is collected in DICOM format (Digital Imaging and Communication in Medicine). This format was created by the medical industry manufacturers to centralize the computing data stemming from 3D imaging as well as the patient's personal information going with them (such as the patient's name, his/her birthdate, etc.).

INTRAORAL SCANNER

The first digital intraoral scanner designed for dentistry was introduced at the beginning of the 1980s by Dr Werner Mörmann, a Swiss dentist, and Marco Brandestini, an Italian electrical engineer (Brandeslini M. et al., 1989). Intraoral scanners work like a camera, with the exception that they have a sophisticated technology featuring an optical sensor which measures the reflection of light in all the directions of space, recording the tridimensional positioning of the object.

This three-dimensional representation on the software can be achieved thanks to a process of alignment dictated by a computer algorithm. This step consists in recording a multitude of points on the three-dimensional surfaces of the model. This is what we call digitization. These clouds of virtual points are then connected to each other. This process results in a mesh which constitutes the 3D model, the virtual replica of the physical model. The model can be seen immediately on the practitioner's monitor to which the optical sensor is connected, and can be exported, in the STL format, into the CAD software to model a prosthetic element, an orthodontic splint, a surgical guide, a segmented model, etc.

*Today, about fifteen intraoral scanners allow to take intraoral impressions in the dental office (Joda T. et al., 2014) (**fig. 4**) (**table 1**). The capture is performed with a portable camera that is included in a monitor or is directly connected to a computer with a USB port or FireWire. Depending on the manufacturers, the collected data can be directly processed with an integrated software and used in the dental office or outsourced towards a center fitted with an adapted modeling software.*



Fig. 4. Principaux dispositifs d'empreinte optique disponibles sur le marché.

Fig. 4. Main optical impression systems available on the market.

Tableau 1. CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX DISPOSITIFS D'EMPREINTE OPTIQUE ACTUELLEMENT DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Table 1. SPECIFICITIES OF THE MAIN OPTICAL IMPRESSION DEVICES CURRENTLY AVAILABLE ON THE MARKET

EMPREINTE OPTIQUE OPTICAL IMPRESSION	CEREC	3SHAPE	CADENT	3M ESPE	PLANMECA	CARESTREAM	GC
Dernier produit, année de lancement <i>Latest item, launch year</i>	OMNICAM, 2012	TRIOS 3, 2015	ITERO ELEMENT, 2015	TRUE DEFINITION, 2014	PLANSCAN, 2014	SCANNER INTRA-ORAL CS 3500, 2014	AADVA IOS, 2015
Année de lancement (1 ^{er} modèle) <i>launch year (First model)</i>	1985	2011	2009	2007	2014	2014	2015
Nbre de modèles commercialisés <i>Number of marketed models</i>	5	3	2	3	1	1	1
Source de lumière <i>Light source</i>	LED BLANCHE WHITE LED	LASER LASER	LASER ROUGE RED LASER	LED BLEUE BLUE LED	LASER BLEU BLUE LASER	LED LED	LED BLEUE BLUE LED
Profondeur de champ <i>Field Depth</i>	de 0 à 13,5 mm 0 to 13.5 mm	de 0 à 13,5 mm 0 to 13.5 mm	de 0 à 13,5 mm 0 to 13.5 mm	de 0 à 15 mm 0 to 15 mm	de 5 à 15 mm 5 to 15 mm	N/A NA	de 0 à 15 mm 0 to 15 mm
Type de capture <i>Type of capture</i>	VIDÉO	VIDÉO	PHOTO	VIDÉO	VIDEO	PHOTO	VIDÉO
Usinage In-office <i>In-office milling</i>	OUI YES	OUI : associable avec usinage de marque tiers YES: compatible with another milling brand	OUI : associable avec usinage de marque tiers YES: compatible with another milling brand	NON NO	OUI : Planmill YES: Planmill	OUI YES	NON NO
Import/Export de fichiers STL ouvert <i>Import/Export of STL file (open)</i>	OUI : (license requise) YES: (required license)	OUI : (license requise) YES: (required license)	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES

EMPREINTE OPTIQUE OPTICAL IMPRESSION	CEREC	3SHAPE	CADENT	3M ESPE	PLANMECA	CARESTREAM	GC
CFAO intégrée Integrated CAD-CAM	OUI YES	OUI YES	NON NO	NON NO	OUI YES	OUI YES	NON NO
Poudrage Powdering	NON NO	NON NO	NON NO	OUI YES	NON NO	NON NO	NON NO
Cout unitaire (dernier modèle) Unit cost (Last model)	Entre 45 000 et 55 000 € (supp. pour usineuse) 45-55 000€ (extra fee for milling machine)	Entre 45 000 et 55 000 € 35-45 000€	Entre 25 000 et 35 000 € 25-35 000€	Entre 15 000 et 25 000 € 15-25 000€	Entre 35 000 et 45 000 € (supp. pour usineuse) 35-45 000€ (extra fee for milling machine)	Entre 25 000 et 35 000 € 25-35 000€	N/A NA
Frais scannage Scanning cost	GRATUIT FREE	GRATUIT FREE	PAYANT CHARGE	GRATUIT FREE	GRATUIT FREE	GRATUIT FREE	N/A NA
Acq. Couleur Color Acq.	OUI YES	OUI YES	NON NO	OUI YES	NON NO	OUI YES	NON NO
Prise de teinte Shade Taking	NON NO	OUI YES	NON NO	NON NO	NON NO	NON NO	NON NO
Unité (moniteur central, kart, port USB...) Central Processing Unit (central monitor, kart, USB port...)	Unité centrale sur caisson à roulettes Central monitor on mobile pedestal	Unité centrale Port USB Installation fauteuil Central monitor USB port Armchair setting	Unité centrale sur caisson à roulettes Central monitor on mobile pedestal	Unité centrale sur caisson à roulettes Central monitor on mobile pedestal	Port FireWire ou Thunderbolt FireWire Port or Thunderbolt	Port USB USB port	Unité centrale sur caisson à roulettes Central monitor on mobile pedestal

Dans le marché dentaire, il existe aujourd'hui principalement trois types de technologies de capture optique disponibles (Lee et coll., 2012) :

- la triangulation ;
- le balayage parallèle confocal ;
- l'Active Wavefront Sampling (AWS).

L'empreinte optique permet d'atteindre trois objectifs distincts :

1. Acquérir des données entièrement numériques, destinées au diagnostic 3D, à la planification chirurgicale (en association avec le Cone Beam) et à la communication avec le patient et l'équipe pluridisciplinaire. Ici, le processus de fabrication numérique est restreint à la phase visualisation et modélisation 3D (CAO). Aucune fabrication n'y est associée.
2. Fabriquer un élément prothétique directement à partir de la modélisation 3D sans pour autant fabriquer de modèle physique. On parle ici de CFAO directe. La conception et la fabrication de la pièce prothétique peuvent être réalisées dans un centre de production externalisé ou bien immédiatement usinée au sein du cabinet par une fraiseuse « in-office » proposée par certains fabricants (Cerec, Planmeca, Lyra).
3. Acquérir un modèle virtuel pour en produire un modèle physique par le biais d'une imprimante 3D. Dans cette situation, le flux numérique n'est utilisé qu'au stade de l'empreinte, et n'est donc que partiel. On parle ici de CFAO semi-directe. Elle permet donc la conception numérique de pièces prothétiques, comme les armatures, mais autorise le travail du céramiste, encore irremplaçable lorsque, par exemple, l'esthétique est d'importance.

On the dental market, there are nowadays three main types of optical capture technologies (Lee S.I et al., 2012):

- Triangulation
- Parallel confocal scanning
- Active wavefront sampling

The optical impression allows to achieve three different goals:

1. Collecting fully digital data used for the 3D diagnosis, the surgical planning (in association with Cone Beam), and for the communication with the patient and the multidisciplinary team. Here, the process of digital manufacturing is limited to the phase of visualization and 3D modeling (CAD). No manufacturing is associated with it.
2. Making a prosthetic element directly from the 3D modeling with no need to make a physical model. Here, we speak of direct CAD-CAM. The design and manufacturing of the prosthetic part can be handled in an outsourced production site or immediately made in the dental office with an in-office milling unit provided by several manufacturers (Cerec, Planmeca, Lyra).
3. Obtaining a virtual model in order to produce a physical model with a 3D printer. In this case, the digital stream is only used at the stage of the impression, and thus remains partial. We speak of semi-direct CAD-CAM. It allows the digital design of prosthetic parts such as frameworks for example, but also allows the work of the lab technician who cannot be replaced when, for example, aesthetics is most important.

SCANNER EXTRA-ORAL OU SCANNER DE LABORATOIRE

La méthode traditionnelle pour emprunter le chemin de la CFAO consiste à scanner les modèles quand ils arrivent au laboratoire ou à numériser les wax-up (piliers, armatures). L'acquisition des données ne se fait plus directement sur le patient, mais de façon indirecte via une pièce de transfert qui peut être une empreinte, un modèle en plâtre, un wax-up... On parle donc de technique de CFAO indirecte. Ici, la chaîne numérique est utilisée seulement au laboratoire et n'affecte pas les habitudes de travail du praticien. C'est la technique de CFAO la plus employée à ce jour. Si la précision de ces scanners est reconnue, la numérisation porte avec elle l'accumulation des imprécisions liées aux déformations d'une prise d'empreinte et d'une coulée du plâtre conventionnelle, imprécisions qui ne sont pas présentes lorsque le scannage se fait directement en bouche (Logozzo et coll., 2008).

SCANNER FACIAL

Ce type de scanner fonctionne par une technologie de lumière structurée. À l'instar du scanner de laboratoire et du scanner intraoral, il enregistre la surface de l'objet visé, en l'occurrence le visage du patient. Son utilisation trouve tout son intérêt lorsque la surface faciale peut être combinée avec celle obtenue avec le CBCT et le scanner intra-oral. Les informations relatives aux structures osseuses, arcades dentaires et tissus mous sont alors associées et créent un « avatar » virtuel de notre patient. En ce sens, il est l'élément qui nous rapproche aujourd'hui de la conception d'un patient virtuel. En plus d'être un formidable élément de communication, il permet de simuler la planification du traitement (Papaspyridakos et coll., 2015).

2. LOGICIEL DE CAO : MODÉLISATION

La modélisation peut se faire à des fins chirurgicales, comme avant une chirurgie guidée, ou dans un but prothétique, dans le cadre de la conception d'un pilier implantaire, par exemple (fig. 5).

EXTRAORAL SCANNER OR LABORATORY SCANNER

The traditional method to use CAD-CAM consists in scanning the models when they arrive at the laboratory, or to digitize wax ups (abutments, frameworks). The data acquisition is not made directly on the patient any more, but indirectly via a transfer tool, which may be an impression, a plaster cast, a wax up... This is what we call the indirect CAD-CAM technique. Here, the digital chain is only used in the laboratory and does not affect the practitioner's working habits. This is currently the most widespread CAD-CAM technique. If the accuracy of these scanners cannot be questioned, the digitization encompasses the accumulation of inaccuracies due to deformations when the impression is taken and to a conventional plaster cast - such inaccuracies do not exist when scanning is directly made in mouth (Logozzo S. et al., 2008).

FACIAL SCANNER

This type of scanner works with a technology of structured light. Like the laboratory scanner and the intraoral scanner, it records the surface of the targeted object, in this case the patient's face. Its use is most interesting when the facial surface can be combined with the surface obtained with the CBCT and the intraoral scanner. The information about bone structures, dental arches and soft tissues can merge and create a virtual "avatar" of our patient. In this regard, this is nowadays the closest element to the design of a virtual patient. Besides of being a great tool of communication, it also allows to simulate the planning of the treatment (Papaspyridakos P et al., 2015).

2. CAD SOFTWARE: MODELING

Modeling can be performed in surgical purposes, for example before a guided surgery, or in a prosthetic purpose, for instance to handle the design of an implant abutment (fig. 5).

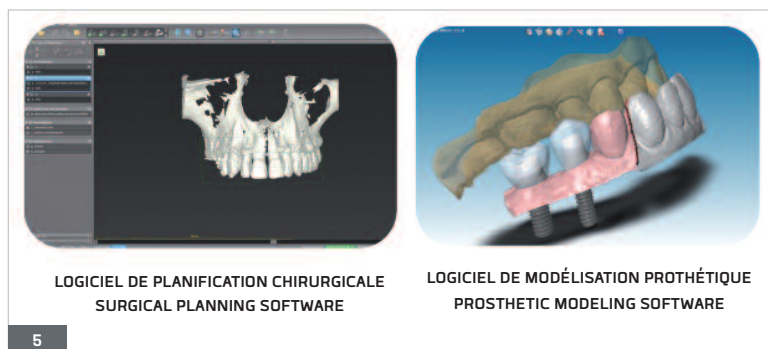
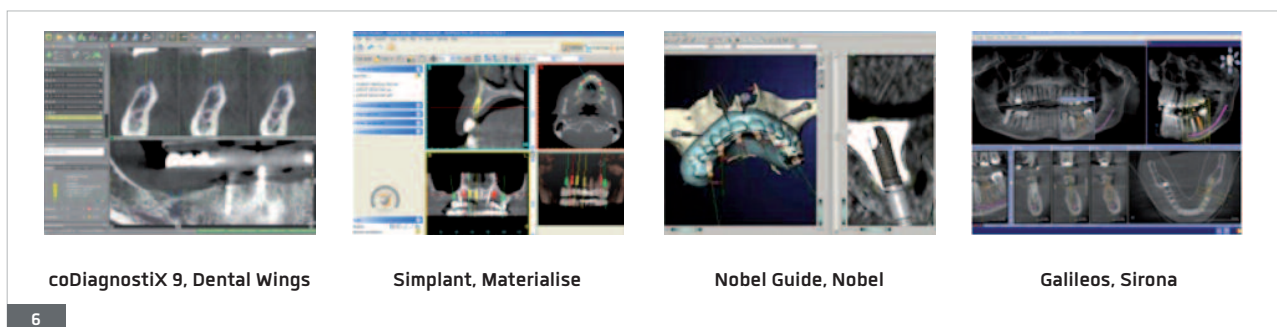


Fig. 5. Principaux dispositifs de modélisation disponibles sur le marché.

Fig. 5. Main modeling systems available on the market.

Fig. 6. Principaux logiciels de planification chirurgicale disponibles sur le marché.

Fig. 6. Main surgical planning softwares available on the market.



Dans le premier cas, ce sont avant tout des logiciels de diagnostic préimplantaire capable de lire les fichiers spécifiques l'imagerie 3D médicale (Dicom) (fig. 6), à l'exception près qu'ils contiennent, pour la plupart, des outils avancés de planification chirurgicale virtuelle (bibliothèque d'implant, segmentation des structures anatomiques, importation de projets prothétiques...) et la possibilité, *in fine*, d'y adjoindre un design de guide chirurgical qui sera fabriquée par une imprimante 3D. Ceux communément disponibles sur le marché aujourd'hui sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau 2).

In the first case, we mostly find diagnostic pre-implant softwares able to read the specific files of the medical 3D imaging (DICOM) (fig. 6). With the exception that most of them include advanced tools of virtual surgical planning (implant library, segmentation of the anatomical structures, import of prosthetic projects) and the possibility, in fine, to add a surgical guide design that will be made by a 3D printer. The softwares commonly found on the market today are presented in the board below. (table 2)

Tableau 2. CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX LOGICIELS DE PLANIFICATION CHIRURGICALE ACTUELLEMENT DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ
Table 2. SPECIFICITIES OF THE MAIN SOFTWARES OF SURGICAL PLANNING CURRENTLY AVAILABLE ON THE MARKET

CAO - LOGICIEL DE PLANIFICATION CAD PLANNING SOFTWARE	DENTAL WINGS	PLANMECA	NOBEL BIOCARE	3SHAPE
Nom du logiciel <i>Software name</i>	CODIAGNOSTIX	ROMEXIS	NOBELCLINICIAN/NOBELGUIDE	IMPLANT STUDIO
Reconstruction 3D <i>3D reconstruction</i>	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES
Bibliothèque implants à disposition <i>Available implant library</i>	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES
(Nbre de fabricants implantaires) <i>Number of implant manufacturers</i>	NB > 30	NB > 30	Implant Nobel	NB > 10
Import/Export de fichiers STL ouvert <i>Import/export of open STL files</i>	OUI YES	OUI YES	NON NO	OUI YES
Superposition modèle STL <i>Superposition STL model</i>	OUI YES	OUI YES	OUI : (modèle platre scanné par NobelProcera 2G) YES: (plaster model scanned by NobelProcera 2G)	OUI YES
Wax-up virtuel <i>Virtual wax-up</i>	OUI YES	OUI YES	N/A NA	OUI YES
Passerelle directe avec une plateforme prothétique <i>Direct gateway with prosthetic platform</i>	OUI (DWOS) YES (DWOS)	OUI (PlanCAD) YES (PlanCAD)	OUI (NobelProcera 2G) YES (NobelProcera 2G)	OUI (Dental System) YES (Dental System)
Conception/Fabrication de guide (chirurgie guidée) <i>Design/Guide manufacturing (guided surgery)</i>	OUI YES	NON (en cours de développement) NO (under development)	OUI YES	OUI YES
Téléchargement des cas sur logiciel en ligne <i>Cases download on on-line software</i>	NON NO	NON NO	NON NO	OUI YES
Prix d'acquisition du logiciel (fourchette) <i>Price of software (range)</i>	5 000 €	5 000 €	N/A NA	N/A NA
Système d'exploitation <i>Operating system</i>	PC	MAC ET PC	PC	PC

Ces logiciels ont donc la capacité de faire converger les données Dicom (CBCT) avec les fichiers STL (scanner de surface des arcades du patient). L'intérêt majeur de cette superposition est de visualiser les contours gingivaux et prothétiques, tout en s'affranchissant de la réalisation d'un guide radiographique conventionnel réalisé au laboratoire (souvent trop approximatif). Le deuxième intérêt est de créer un modèle 3D puis de produire un guide chirurgical adapté à la surface des dents ou des muqueuses en accord avec le positionnement tridimensionnel des implants. Il s'agit là d'une chirurgie assistée par ordinateur (fig. 7).

These softwares are thus able to merge DICOM data (CBCT) with STL files (surface scanner of the patient's arches).

The major interest of this superposition is to visualize the gingival and prosthetic outlines, while eliminating the necessity to make a conventional radiographic guide manufactured in the laboratory (often too approximate). The second interest is to create a 3D model before making a surgical guide adapted to the surface of teeth or mucous membranes according with the three-dimensional positioning of implants. This is called computer-aided surgery (fig. 7).



Fig. 7. Pièces fabriquées par technique additive ou impression 3D. Modèle de travail imprimé (à gauche) et guide chirurgical (à droite).

Fig. 7. Parts manufactured with the additive technique or 3D printing. Printed work model (on the left) and surgical guide (on the right).

En plus d'apporter une assistance à l'acte chirurgical, ces logiciels disposent souvent d'une plateforme similaire dédiée à la conception virtuelle de modèles, ou celle de la future armature prothétique par exemple (ex. : Romexis, Dental Wings, Cerec, 3Shape...) (fig. 8 et tableau 3).

Besides assisting the surgical act, these softwares often have a similar platform dedicated for example to the virtual design of models, or the design of the future prosthetic framework (Ex: Romexis, Dental Wings, Cerec, 3Shape ...) (fig. 8) (table 3).

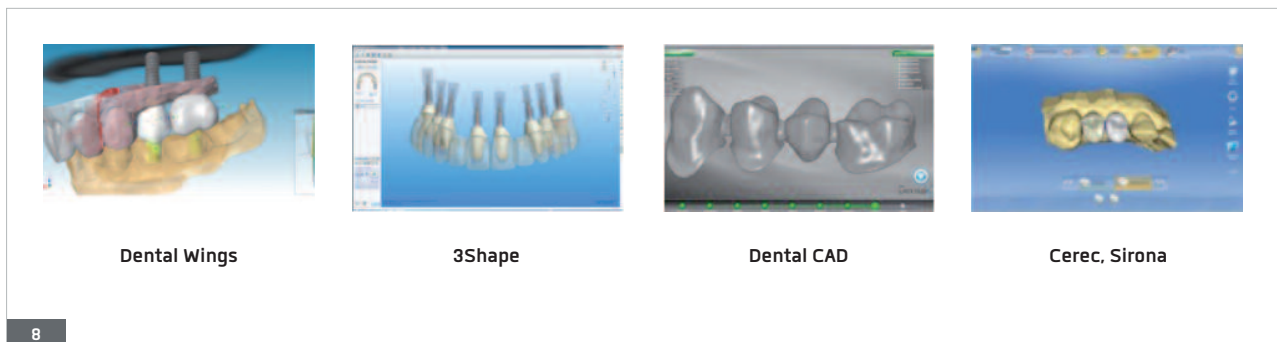


Fig. 8. Principaux logiciels de conception prothétique disponibles sur le marché.

Fig. 8. Main softwares of prosthetic design available on the market.

Tableau 3. CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX LOGICIELS DE PLANIFICATION PROTHÉTIQUE ACTUELLEMENT DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ
Table 3. SPECIFICITIES OF THE MAIN SOFTWARES OF PROSTHETIC PLANNING CURRENTLY AVAILABLE ON THE MARKET

CAO - PLATEFORME PROTHÉTIQUE CAD - PROSTHETIC PLATFORM	NOBEL BIOCARE	PLANMECA	DENTAL WINGS	3SHAPE
Nom du logiciel <i>Software name</i>	NOBELPROCERA	PLANCAD EASY	DWOS	DENTALSYSTEM
Plateforme ouverte (Import/Export de fichiers STL ouvert) <i>Open platform (import/export of open STL files)</i>	NON (fichier STL fermé, intègre les systèmes d'implants premium dans le catalogue produits) <i>NO (closed STL file integrates the premium implant systems in the product catalog)</i>	OUI YES	OUI YES	OUI YES
Intégré avec caméra optique <i>Integrated optical camera</i>	NON Smart fusion avec le scanner NobelProcera 2G <i>NO (Smart Fusion with NobelProcera 2G scanner)</i>	OUI PLANSCAN PLANMECA/3M YES PLANSCAN PLANMECA/3M	Sortie caméra fin 2015 <i>Camera scheduled end 2015</i>	OUI 3Shape Trios YES 3 Shape Trios
Intégré avec logiciel de planification chirurgicale <i>Integrated software of surgical planning</i>	NOBELCLINICIAN	ROMEXIS ET SIMPLANT	CODIAGNOSTIX	3SHAPE IMPLANT STUDIO
Prothèse implanto-portée <i>Implant-borne prosthesis</i>	OUI (NOBELPROCERA) YES (NOBELPROCERA)	OUI YES	OUI YES	OUI YES
Prothèse conventionnelle <i>Conventional prosthesis</i>	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES
Prothèse adjointe <i>Removable prosthesis</i>	NON NO	NON NO	OUI YES	OUI YES
Articulateur virtuel <i>Virtual Articulator</i>	NON NO	NON NO	OUI YES	OUI YES
Système d'exploitation <i>Operating system</i>	MAC ET PC	PC SOUS WINDOWS 8 PC WINDOWS 8	PC	PC

Sur le modèle numérique virtuel, l'opérateur va élaborer la future prothèse à partir d'une préforme extraite d'une bibliothèque virtuelle. L'ensemble des caractéristiques de la pièce à concevoir (épaisseur, limites, etc.) est décidé par l'opérateur. La liste des applications est de plus en plus exhaustive, certains fabricants permettent la fabrication d'éléments prothétiques sur dent naturelle (inlay-core, armature, couronne pleine) et sur implant (pilier, armature transvissée...), prothèse adjointe (base métal stellite) ou des dispositifs orthodontiques. L'intérêt de la conception assistée par ordinateur reste le gain de temps et de précision, pouvant être inférieur à 50 µm. De cette précision découlent les ajustements parfaits des pièces et la possibilité de concevoir des pièces dans des matériaux uniquement usinables, comme la zircone. Une fois la prothèse ou le guide chirurgical élaborés virtuellement, il reste à le produire physiquement, dans le matériau choisi pour sa fabrication (fig. 9).

On the virtual digital model, the operator is going to make the future prosthesis from a preform taken in an electronic library. All the characteristics of the piece to be designed (thickness, margins, etc.) is are decided by the operator. The list of the applications is more and more exhaustive, some manufacturers allow the manufacturing of prosthetic elements on natural teeth (inlay core, framework, full crown) and on implant (abutment, screwed-retained framework...), overdentures (metal base Stellite) or orthodontic devices. Computer-aided design remains interesting because it's time-saving and provides outstanding accuracy, since it may be lower than 50 µm. This accuracy results in perfect adjustments of parts and the possibility to design parts in machinable materials only, such as zirconium for example. Once the prosthesis or the surgical guide have been virtually designed, it must be physically manufactured in the adequate material (fig. 9).



Fig. 9. Pièces fabriquées par technique soustractive ou usinage. Pilier implantaire par CFAO et modèle de travail usiné.

Fig. 9. Parts manufactured with the subtractive technique or milling. CAD-CAM implant abutment and machined work model.



Fig. 10. Procédés de fabrication par soustraction (usineuse) et par addition (imprimante 3D).

Fig. 10. manufacturing processes by subtraction (milling machine) and by addition (3D printer).

3. TECHNOLOGIES DE FAO : FABRICATION

Le rôle de la FAO est d'écrire le programme qui permettra le fonctionnement des machines-outils à commande numérique (MOCN) pour fabriquer la pièce conçue par la CAO. Le logiciel génère le programme ISO qui permet son exécution par la machine-outil.

Il existe deux systèmes de fabrication numérique aujourd'hui (fig. 10) :

- les procédés soustractifs ;
- les procédés additifs par strates.

Le procédé soustractif est le procédé traditionnel de FAO. Il s'agit d'usiner dans un bloc de matière la pièce à fabriquer, à l'aide de machines-outils commandées par le logiciel CAD. La pièce est donc mise en forme par soustraction de matière. La capacité des machines-outils à fraiser des pièces complexes augmente avec le nombre d'axes de déplacement des fraises. Ces machines peuvent usiner toutes sortes de matériaux, comme du titane, du chrome-cobalt, de la zircone frittée ou préfrittée, ou des matériaux résines calcinables.

L'intérêt de l'usinage réside dans :

- l'excellente précision du fraisage (avantage indéniable dans les reconstructions prothétiques qui nécessitent une grande passivité) ;
- la flexibilité des matériaux utilisables ;
- l'homogénéité des densités des matériaux ;
- la résistance des pièces usinées dans le temps.

En revanche, l'usinage s'accompagne de perte de matière importante, il est donc peu économe en matériaux. Par ailleurs, la reproduction des détails est tributaire du diamètre de la fraise dont l'usure doit être régulièrement vérifiée. La complexité des pièces à produire implique également un nombre suffisant d'axes de déplacement des fraises. Enfin, les pièces sont nécessairement produites successivement, soit à raison d'une pièce produite par machine-outil, ce qui limite la productivité.

3. CAM TECHNOLOGIES: MANUFACTURING

The role of CAM is to write the program, which allows the functioning of the computer numerical control (CNC) machine tools in order to manufacture the part designed by CAM. The software generates the ISO program, which allows its fabrication by the machine tool.

There are currently two systems of numerical manufacturing (fig. 10):

- The subtractive process
- The additive process with sintering

- **The subtractive process** is the traditional CAM process. It consists in manufacturing the piece in a block of material with machine tools controlled by the CAD software. The piece is shaped by subtraction of material. The capacity of machine tools to mill complex parts increases with the number of axes of travel of the mills. These machines can work on all sorts of materials such as titanium, cobalt-chromium, pre-sintered or sintered zirconia, or burn-out resin materials.

The interest of the machining lies in:

- the high accuracy of milling (irrefutable asset in the prosthetic reconstructions requiring great passivity)
- The flexibility of materials that can be used
- The homogeneity in the densities of materials
- The resistance of machined parts in time

However, machining generates a considerable material loss; it is thus material consuming. Besides, the reproduction of details depends on the diameter of the mill and its wear must regularly be checked. The complexity of the parts to manufacture also implies a sufficient number of axes of travel of the mills. Finally, the parts must be fabricated successively, at the rate of one part made by one machine tool, which limits the productivity.

Les procédés additifs, communément appelés impression 3D, sont des processus de fabrication directe. La pièce est entièrement fabriquée par apposition de couches successives de matière. Il n'y a donc pas de bloc de fraisage ni de moule : l'économie de matière est réelle. Mais l'avantage principal réside surtout dans la capacité de ces techniques additives à réaliser des pièces prothétiques dont l'anatomie est complexe ou impossible à obtenir par usinage ou par coulée classique (Thiel et coll., 2008).

Il existe aujourd'hui trois types de techniques additives :

- la stéréolithographie ;
- l'impression 3D multijet (tableau 4) ;
- le frittage par laser ou microfusion.

-The additive processes, commonly called 3D printing, are direct manufacturing methods. The part is entirely manufactured by laying down successive layers of material. There is no milling block and no cast: the economy of material is real. But the main advantage lies in the capacity of these additive techniques to make prosthetic parts with complex anatomies, or parts that cannot be made with the machining process or the traditional casting process (Thiel F et al., 2008).

There are three types of additive techniques today:

- Stereolithography
- Multi-Jet 3D printing (table 4)
- Laser or microfusion sintering

Tableau 4. CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPALES IMPRIMANTES 3D ACTUELLEMENT DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

Table 4. SPECIFICITIES OF THE MAIN 3D PRINTERS CURRENTLY AVAILABLE ON THE MARKET

IMPRIMANTE 3D 3D PRINTER		PRODWAYS	3D SYSTEM	STRATASYS	ENVISIONTECH
Nom modèle (le plus adapté) Model name (most adequate)		L500D	PROJET3500	OBJET30	PERFACTORY MICRO ORTHO3D PRINTER
Technologie utilisée Technology		MOVING LIGHT - SCANDLP	MULTIJET	MULTIJET	FIXE DLP
Résolution Resolution		32 MICRONS	66 MICRONS	45 MICRONS	98 MICRONS
Épaisseur des couches Layer thickness		25 À 150 MICRONS 25 TO 150 MICRONS	33 MICRONS	28 MICRONS	50 À 100 MICRONS 50 TO 100 MICRONS
Précision Accuracy		75 % DANS 50 MICRONS 75% IN 50 MICRONS	25 % DANS 50 MICRONS 25% IN 50 MICRONS	25 % DANS 50 MICRONS 25% IN 50 MICRONS	40 % DANS 50 MICRONS 40% IN 50 MICRONS
Vitesse d'exécution (base de 10 modèles) Execution speed (10 models)		TBD : 400 x 300 mm en 30" TBD: 400 x 300 mm in 30s	300 x 185 mm en 45" 300 x 185 mm in 45s	300 x 200 mm en 60" 300 x 200 mm in 60sec	100 x 75 mm en 40" 100 x 75 mm in 40s
Matériaux biocompatibles Biocompatible materials		OUI YES	NON NO	OUI YES	OUI YES
FABRICATION – MANUFACTURING	Modèle Model	OUI YES	OUI YES	OUI YES	OUI YES
	Modèle + gencive flexible Model + Flexible gums	OUI YES	NON NO	NON NO	NON NO
	Guides chirurgicaux Surgical guide	OUI YES	NON NO	OUI YES	OUI YES
	Gouttière ortho Ortho splint	OUI YES	NON NO	N/A NA	N/A NA
	Provisoire Provisional	OUI YES	NON NO	NON NO	NON NO
Pays Country		FRANCE	ÉTATS-UNIS	ÉTATS-UNIS	ALLEMAGNE GERMANY
Fourchette de prix Price range		210 K€	130 K€	80 K€	N/A NA
Distributeur pour la France Dealer in France		BIOTECH, DREVE (Allemagne) BIOTECH, DREVE (Germany)	Laboratoire de proximité Local laboratory	Laboratoire de proximité Local laboratory	Laboratoire de proximité Local laboratory

4. DISCUSSION

La réalisation d'un traitement peut se faire en suivant complètement la chaîne numérique, du diagnostic à la pose de la prothèse, grâce aux dispositifs décrits précédemment. Le praticien peut cependant avoir un recours partiel aux technologies numériques. C'est le cas lorsqu'un CBCT est pratiqué avant la pose chirurgicale d'un implant. Même si le reste du traitement, soit la réalisation de la couronne sur implant, est réalisé de façon conventionnelle, le flux numérique est alors quand même emprunté. De la même manière, et d'autant plus lorsque les systèmes sont ouverts (via les fichiers STL), l'empreinte de l'implant peut être prise de façon conventionnelle, puis scannée par le prothésiste qui modélisera le pilier sur son logiciel de CAO.

Il faut donc voir le flux numérique non comme une aide coercitive qui implique de devoir tout traiter numériquement, mais comme un flux dans lequel on peut entrer et sortir. Et d'autant plus facilement que les systèmes sont ouverts. C'est pour cette raison qu'on parle aujourd'hui de CFAO directe, semi-directe ou partielle.

La CFAO est dite directe lorsque toutes les étapes de la chaîne numérique se font au cabinet. Cerec, Planmeca ou Lyra offrent cette possibilité, avec une usineuse in-office.

Dans le cas de la CFAO semi-directe, la récupération des données cliniques du patient se fait par l'empreinte optique et la CAO/FAO est déléguée au laboratoire de prothèse. Il y a externalisation des étapes de FAO et/ou CAO. La CFAO indirecte ou partielle fait référence aux traitements dont l'empreinte est prise soit traditionnellement, soit par un procédé physico-chimique. L'étape du scannage est ici externalisée.

CONCLUSION

À l'heure où les mots d'ordre sont gain de temps, de précision et de confort, il est impossible d'ignorer la CFAO, car c'est un outil qui a déjà fait ses preuves en ce sens (Torabi et coll., 2015 ; Van der Meer et col., 2012).

Du recueil des données cliniques du patient à la conception de son guide chirurgical ou de sa pièce prothétique, le flux numérique s'impose comme un catalyseur dans la précision des traitements. L'ajustement parfait des pièces prothétiques, le positionnement de l'implant fidèle à celui décidé lors de la planification, l'utilisation de matériaux uniquement usinables sont autant de considérations qui témoignent aujourd'hui de la performance de la CFAO et qui présagent de son avenir.

L'avènement du scanner facial ouvre également une autre voie dans la « construction » d'un patient virtuel. Les données acquises ne sont plus uniquement intra-orales (osseuses via le CBCT, ou dentaires, par l'empreinte optique), elles sont aussi extra-orales par l'acquisition des contours du visage. Ainsi, un patient est numérisé dans son « intégralité anatomique ». Une prothèse dentaire ne s'intégrera plus à un espace prothétique comme on l'entend, mais à un patient dans son ensemble. Le flux numérique n'est donc pas que prothétique, il devient outil de diagnostic et outil de communication (voir article 2).

Si l'investissement reste lourd, il faut garder à l'esprit qu'emprunter le flux numérique pour traiter un cas clinique n'impose pas de suivre la chaîne

4. DISCUSSION

Treatments may be performed by following the complete digital stream, from the diagnosis to the placement of the prosthesis, thanks to the devices previously described. However, the practitioner may partially use the digital technologies. It is the case when a CBCT is performed before the surgical placement of an implant. Even if the rest of the treatment, i.e the making of the crown on the implant, is performed in a conventional way, the digital stream is nonetheless partially followed. In the same way, and particularly when the systems are open (via STL files), the impression of the implant may be taken in a conventional way, then scanned by the lab technician who will model the abutment on his/her CAD software. In this regard, the digital stream must not be seen as a coercive aid which forces to numerically handle everything, but rather as a stream one can enter and leave. And it is still easier when systems are open. This is why we now speak of direct, semi-direct or partial CAD-CAM.

CAD-CAM is direct when all the stages of the digital chain are performed in the dental office. Cerec, Planmeca or Lyra offer this possibility, with an in office milling machine. In the case of semi-direct CAD-CAM, the patient's clinical data are collected with the optical impression and the CAD/CAM is performed in the dental laboratory. The CAM and/or CAD stages are outsourced.

Indirect or partial CAD-CAM refers to treatments for which the impression is taken either conventionally or with a chemical-physical process. In this case, the scanning stage is outsourced.

CONCLUSION

At a time when everybody seeks to gain time, accuracy and comfort, it is impossible to ignore CAD-CAM - this tool has already proven its efficacy in these three fields. (Torabi K. et al., 2015; Van der Meer W.J. et al., 2012).

From the gathering of the patient's clinical data to the design of his/her surgical guide or prosthetic part, the digital stream stands out as a catalyst in the accuracy of treatments. The perfect adjustment of the prosthetic parts, the positioning of the implant adequate to the one decided during the treatment planning, the use of machinable materials only are as many elements attesting the efficiency of CAD-CAM today, which also foretell its future.

The arrival of the facial scanner also opens another path in the "construction" of a virtual patient. The acquired data are no longer exclusively intraoral (osseous via CBCT or dental with the optical impression), they are also extraoral with the acquisition of the face contours. The patient can thus be digitized in his/her "anatomical completeness". A dental prosthesis will not be integrated into a prosthetic space as we understand it today, but in a patient taken in his/her integrity. The digital stream is not only prosthetic, it also becomes a diagnostic tool as well as a communications tool such as it is described in article 2.

dans son intégralité, en particulier lorsque la situation clinique impose d'avoir recours au savoir-faire et à l'expérience du prothésiste. En effet, les caractérisations des dents dans la masse, la gestion du guidage, la fabrication de prothèses amovibles, etc., restreignent le champ des possibles offert par la CFAO. L'évolution et l'amélioration des performances de la CFAO dépendront aussi de la relation praticien-prothésiste-industrie, dans le but commun d'assurer une prise en charge optimale de nos patients. Si la CFAO est vouée à suppléer l'analogique, il n'en reste pas moins que les deux systèmes devront cohabiter encore un certain temps.

Demande de tirés-à-part :

Dr Coralie Schneider, 18, boulevard Saint-Michel, 75006 PARIS.

If the financial cost remains significant, we must keep in mind that using the digital stream to handle a clinical case does not imply that we have to follow the whole chain. Particularly when the clinical situation requires the dental technician's know-how and experience. Indeed, the specificities of teeth, the management of the guide, the manufacturing of removable prostheses, etc. do limit the field of possibilities offered by CAD-CAM. The evolution and the improvement of CAD-CAM performance will also depend on the practitioner-dental technician-industry relationship, with the common goal to provide optimal care to our patients. If CAD-CAM is likely to replace the analog in the future, the two systems will still have to coexist for some time.

Traduction : Marie Chabin

BIBLIOGRAPHIE

DURET F. – L'empreinte optique, thèse de doctorat en chirurgie dentaire. Chapitres VI, VII, VIII, IX. 1973-1974. Cat 3

BRANDESTINI M., MOERMANN W.H. – inventors: Method and apparatus for the three dimensional registration and display of prepared teeth. US Patent 4837732; 1989. Cat 4

JODA T., GALLUCCI G.O. – The virtual patient in dental medicine. Clin Oral Implants Res. Mar 26. 2014. Cat 4

LEE S.J., GALLUCCI G.O. – Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. Clin Oral Implants Res. Jan;24(1):111-5. 2012 Feb 22. 2013. Cat 2

Logozzo S., Franceschini G. – A comparative analysis of intraoral 3d digital scanners for restorative dentistry. The Internet Journal of Medical Technology. Vol 5. Num 1. 2008. Cat 3

PAPASPYRIDAKOS P., GALLUCCI G.O. et al. – Digital versus conventional implant impressions for edentulous patients: accuracy outcomes. Clin Oral Implants Res. Feb 13. 2015. Cat 2

THIEL F., PFEIFFER J. et al. – Apparatus and method for optical 3D measurement. International Publication WO 2008/092791 A1; 2008. Cat 4

TORABI K., FARJODE E. et al. – Rapid prototyping technologies and their applications in prost-hodontics, a review of literature. J Dent (Shiraz). Mar;16(1):1-9. 2015. Cat 3

VAN DER MEER W.J., ANDRIESEN F.S. et al. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. PLoS One. 7(8) 2012. Cat 2