

---

# L'EMPREINTE OPTIQUE ET CONCEPTION 3D

---

Jusqu'à l'arrivée du numérique, les empreintes étaient réalisées systématiquement de manière physique avec divers matériaux. Bien que les empreintes traditionnelles aient fait leurs preuves, leurs inconvénients sont indéniables (tirage ; bulles ; déchirement ; déformation à la prise...). Ces empreintes physico-chimiques sont *opérateur-dépendantes*.

Le numérique a pour but d'enregistrer des informations analogiques (informations dentaires) et de les transformer en données numériques (empreinte virtuelle).

On distingue **deux types de numérisation** : intra-orale et extra-orale.

En exo-buccal, il est possible de scanner un modèle en plâtre sur un « *scanner de table* », de numériser une empreinte réalisée de manière conventionnelle ou sa reproduction en plâtre à l'aide d'un cone beam.

La numérisation intra-orale nécessite l'utilisation d'une *caméra intra-orale*. Celle-ci sera développée par la suite.

Il existe également **deux méthodes de numérisation** : tactile et non-tactile. La numérisation tactile est aussi appelée « numérisation par contact-mécanique » ou « micro-

palpage ». Elle passe par l'enregistrement d'une structure positionnée sur un socle indéformable et parfaitement statique grâce à un stylet (le palpeur) qui envoie les informations à un ordinateur de pilotage. Cette numérisation par micro-palpation n'est pas possible directement en bouche et est donc contraignante, bien que très précise. [10]

CFAO est l'acronyme de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur. Il s'agit de la traduction française de CAD/CAM « computer-assisted design/computer-assisted manufacturing ». Ainsi, à partir de l'empreinte virtuelle réalisée, toute une chaîne numérique est mise en œuvre pour aboutir à la réalisation physique de pièces prothétiques ou chirurgicales.

Cette chaîne complète de CFAO est résumée comme suit :

#### ACQUISITION et NUMERISATION



**Figure 10 : Photo d'une empreinte optique sur le système CEREC**

<https://www.dentiste-republique.fr/technologies/empreinte-optique/> (consulté le 18/04/2020)

#### CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR



**Figure 11: Conception numérique d'une prothèse**

<https://www.dentiste-republique.fr/technologies/empreinte-optique/> (consulté le 18/04/2020)

## FABRICATION et MISE EN PLACE



Figure 12 : Mise en place des prothèses après impression numérique

<https://www.dentiste-republique.fr/technologies/empreinte-optique/> (consulté le 18/04/2020)

En pratique, on peut distinguer plusieurs types de flux numériques :

- **Indirect** : dans ce cas, le praticien réalise une empreinte conventionnelle qu'il envoie au laboratoire de prothèse. Le laboratoire scanne l'empreinte obtenue ou sa représentation en plâtre et réalise toutes les étapes de production suivantes de façon numérique.
- 
- **Semi-direct** : le praticien réalise l'empreinte numérique, donc il dispose de la caméra optique, puis l'envoie au laboratoire de prothèse qui réalise la fabrication 3D.

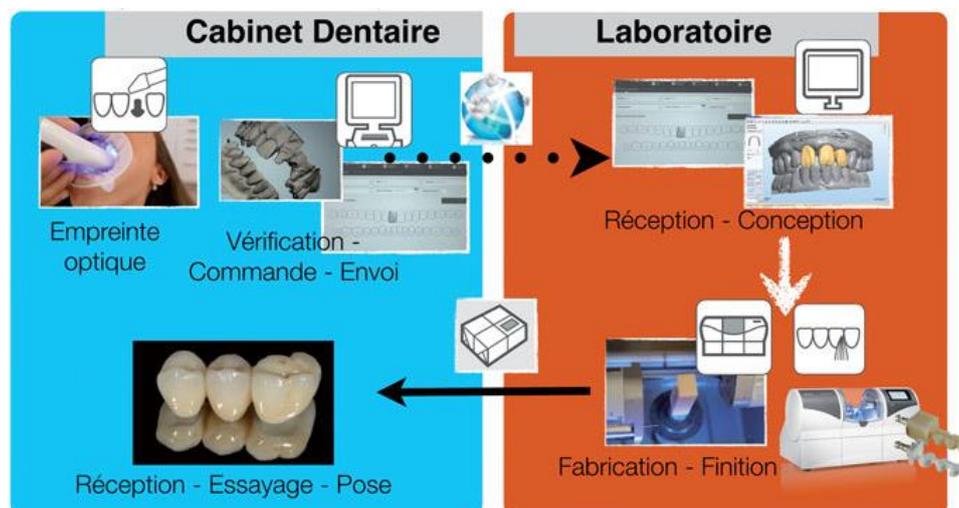


Figure 13: Schéma du flux numérique semi-direct

<https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/cfao-au-cabinet-dentaire-le-materiel-disponible-en-2017/> (consulté le 27/09/2020)

- **Direct** : dans ce cas, toutes les étapes de la CFAO sont réalisées au cabinet directement et le laboratoire de prothèse n'intervient plus. [11]

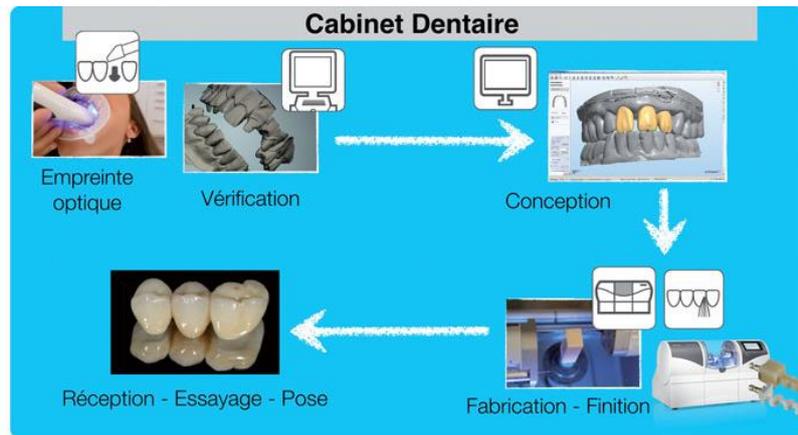


Figure 14 : Schéma explicatif du flux numérique direct

<https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/cfao-au-cabinet-dentaire-le-materiel-disponible-en-2017/> (consulté le 27/09/2020)

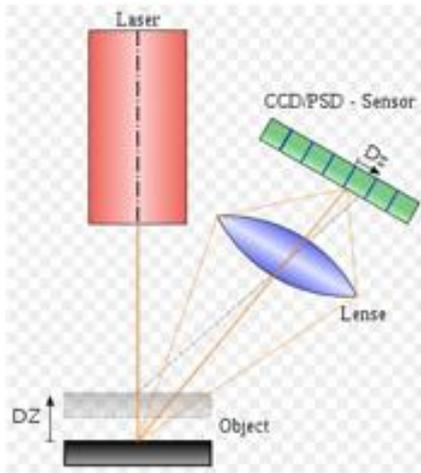
## 1. Empreinte optique

Par définition, l’empreinte optique permet d’enregistrer des volumes bucco-dentaires (des informations analogiques) à l’aide d’un système optique (une « caméra optique ») pour obtenir une empreinte numérique (des données numériques) des tissus enregistrés. Elle constitue la première étape de la CFAO. [12]

Il s’agit d’une numérisation non-tactile et intra ou extra-orale. En effet, l’empreinte virtuelle peut être obtenue après scannage d’une empreinte, d’un modèle en plâtre ou directement de la bouche.

Comme pour toutes les disciplines dentaires, l’empreinte optique (ou empreinte numérique) a connu ses propres évolutions, au niveau de la rapidité et de la qualité d’acquisition.

L’empreinte optique consiste en la projection d’un signal lumineux sous forme de point, de ligne ou d’une surface sur une surface dentaire. Le signal réfléchi est recapté par la caméra ce qui engendre un modèle tridimensionnel. On parle de **triangulation active**.



Principe d'un détecteur utilisant la triangulation laser. Deux positions de l'objet sont montrées.

Figure 15: Schéma de la triangulation active

<http://www.cnifpd.fr/guidecfao/numerisation3D.html> (consulté le 27/09/2020)

A l'origine, les caméras optiques utilisaient un **système de poudrage** à base de dioxyde de titane sur les surfaces dentaires et gingivales. Le poudrage permet de matifier les surfaces, facilitant la lecture au moment de l'enregistrement. Aujourd'hui, ce système n'est plus obligatoire mais peut s'avérer utile sur des surfaces particulièrement brillantes.



Figure 16: Photos avant/après poudrage

<https://www.lefildentaire.com> (consulté le 27/09/2020)

Le mode d'acquisition 3D a évolué, passant de l'enregistrement de clichés successifs au balayage rapide, aussi appelé « flux vidéo ».

L'enregistrement de **clichés successifs** consiste, comme son nom l'indique, à prendre plusieurs clichés qui sont ensuite assemblés pour reconstituer une image complète. Pour

cette technique, la caméra doit impérativement être stable pour éviter un flou cinétique. Il en résulte deux inconvénients majeurs : la durée d'acquisition et la difficulté de mise en œuvre.

L'arrivée du **flux vidéo** facilite l'enregistrement des surfaces dentaires : la caméra doit seulement survoler les surfaces à enregistrer. Ces dernières apparaissent en temps réel sur l'ordinateur et les données non exploitables également. Il suffit alors de refilmer les zones manquantes pour corriger l'enregistrement. Grâce à sa facilité d'utilisation, le temps d'enregistrement est diminué par rapport à la technique précédente. [13]

Les surfaces enregistrées produisent un maître modèle numérique qui peut être monochrome ou en couleur. Le modèle **monochrome** ressemble à un modèle en plâtre. Les modèles en **couleurs** ont l'avantage d'offrir une meilleure lecture des limites des préparations, en particuliers en juxta-gingival. Certains systèmes permettent une proposition simultanée de la couleur de la dent à restaurer. [14]



Figure 17: Différence entre modèle couleur et monochrome

<https://www.lefildentaire.com> (consulté le 27/09/2020)

L'empreinte numérique produit des fichiers au format **STL** qui lui est propre. Ce nom lui a été donné en rappel à la technique de stéréolithographie (d'où l'abréviation STL).

Aujourd'hui, cette technique est utilisée dans tous les domaines de l'odontologie ainsi qu'en orthodontie.

## 2. Fabrication 3D

Une fois l'empreinte optique et la conception faites sur ordinateur, vient l'étape de réalisation 3D pour obtenir un modèle physique.

Il faut distinguer l'**impression 3D**, méthode de fabrication additive, de l'**usinage** qui, à l'inverse, est une méthode de fabrication soustractive.

Dans le cadre de l'impression 3D, plusieurs technologies existent.

La plus connue est la **stéréolithographie (SLA)**. C'est un mode de prototypage rapide : un objet solide est fabriqué à partir d'un modèle virtuel. Il s'agit d'une production industrielle additive de photopolymérisation en cuve par un laser. Cette technique utilise des tranches de résine pour les transformer en plastique dur. C'est la première technique d'impression 3D qui a été mise en œuvre par la société 3D Systems. Ce procédé a évolué vers le **Digital Light Processing (DLP)** : la photopolymérisation ne se fait plus grâce à un laser mais par un projecteur d'UV. Il est plus rapide et moins coûteux que la SLA.[15]

D'autres machines fonctionnent par dépôt de matière fondue, **FDM (Fused Deposition Modeling)** ou **FFF (Fused Filament Fabrication)**. Contrairement à la SLA, cette technique n'utilise pas de matériaux biocompatibles. Elle est donc utilisée pour produire des gouttières de blanchiment, d'alignement ou de contention. [16]

La **fusion laser sur lit de poudre** consiste à faire fondre de la poudre de métal grâce à une source de chaleur (le laser) pour obtenir des pièces prothétiques. La fusion permet d'obtenir des pièces ayant une résistance mécanique élevée contrairement au frittage. Ce dernier n'utilise pas de température suffisamment élevée pour passer à un état liquide ; les

particules de métal sont assemblées, laissant un vide entre elles ce qui engendre une faible résistance mécanique. La fusion laser sur lit de poudre utilise des matériaux métalliques ou des alliages tels que l'acier inoxydable ou encore le titane. Ce dernier est utilisé pour la *fabrication des implants*. [17]

Dans le cas de l'usinage, un bloc de matériau est mis en place dans une usineuse. Le bloc est ensuite sculpté pour obtenir la pièce souhaitée. Il existe des blocs de différents matériaux, chacun ayant son domaine d'application. C'est un mode de fabrication 3D précis. Dans notre domaine d'activité, l'usinage est utilisé pour réaliser de petites pièces prothétiques.

## 2.1. Pour la réalisation des guides chirurgicaux

Comme nous l'avons vu précédemment, le guide chirurgical est élaboré après le guide radiologique. L'empreinte optique va pouvoir constituer un guide radiologique virtuel. Le numérique a permis l'arrivée de l'IAO ou Implantologie Assistée par Ordinateur. [18]

On peut distinguer plusieurs situations cliniques :

➤ Le patient présente un édentement encastré :

On réalise l'empreinte numérique du secteur édenté ainsi que son antagoniste. Sur le logiciel de CAO, on crée le wax up virtuel qui constitue notre projet prothétique. On obtient notre guide radiologique virtuel.

On va pouvoir fusionner le guide radiologique au cone beam du patient : on réalise notre planification. [19]

➤ Le patient est édenté complet :

Dans ce cas, on réalise une prothèse amovible physique que l'on scanne par la suite avant de la fusionner avec le cone beam du patient.

Une fois la planification implantaire faite sur le cone beam du patient, le guide chirurgical peut être produit.

Les différentes méthodes de production des guides chirurgicaux seront développées plus tard.

## 2.2. Pour la réalisation de pièces prothétiques

Le **pilier implantaire** constitue le « faux-moignon » sur lequel viendra reposer la couronne implanto-portée. Les tissus mous devront venir cicatriser autour de ce pilier.

On distingue deux types de piliers implantaires. Le fournisseur d'implants dispose de piliers implantaires standards de différents diamètres et hauteurs mais les seules modifications que l'on peut apporter sont faites par soustraction. De plus, il arrive qu'ils ne soient pas adaptés au parodonte du patient.

Dans ce cas, il est possible de réaliser un pilier implantaire personnalisé. Ce dernier peut être créé selon une technique conventionnelle qui fait intervenir un laboratoire, ou en utilisant la CFAO. Les **piliers anatomiques** vont entraîner une adaptation gingivale optimale. Des études ont prouvé que ces piliers produits par CFAO ont une qualité au moins équivalente à celle obtenue par une autre technique, par exemple en termes de passivité de l'insertion du pilier. [20]

Depuis quelques années, il est aussi possible de réaliser une chirurgie implantaire en un temps pour produire une mise en charge ou mise en esthétique immédiate. Ainsi, directement après la pose de l'implant, on peut réaliser l'empreinte optique du profil d'émergence de l'implant mais aussi des tissus gingivaux. La suppression de l'utilisation des matériaux d'empreinte ayant déjà été évoquée précédemment, son avantage n'est plus à prouver.

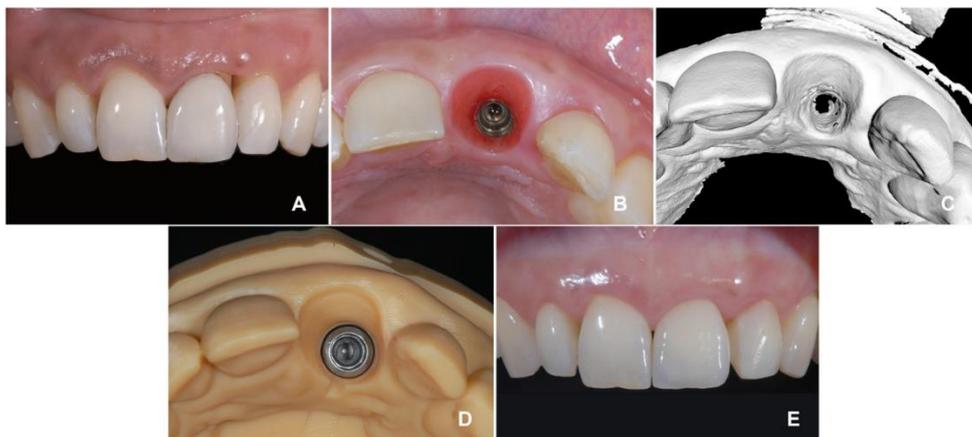
Les couronnes implanto-portées peuvent être reliées à l'implant de 2 façons. On distingue les couronnes trans-vissées et les couronnes scellées. Ces dernières sont moins utilisées aujourd'hui, notamment à cause du joint de ciment, dont les excès sont difficiles à

gérer. Les débordements sous-gingivaux sont souvent responsables d'inflammation du parodonte puis de perte osseuse. Les couronnes trans-vissées permettent de contrer ce problème. La couronne peut être vissée avec le pilier intermédiaire sur l'implant ou la couronne peut être collée en exo-buccal, sur le pilier, ce qui permet de gérer parfaitement le joint, avant que l'ensemble ne soit vissé, en un bloc, sur l'implant.

Pour de la prothèse fixée conventionnelle, on réalise l'empreinte optique de l'hémi-arcade concernée, de la préparation corono-périphérique de la dent à reconstituer puis de l'hémi-arcade antagoniste et enfin des rapports d'occlusion en OIM. Grâce à ces empreintes, on pourra obtenir une couronne pour restaurer la dent en question.

Dans le cadre de l'implantologie, l'empreinte optique se fait en deux temps.

Tout d'abord, la vis de cicatrisation est déposée et la caméra enregistre l'hémi-arcade concernée par la zone de l'implant : on capte l'environnement muqueux péri-implantaire.



**Figure 18 : Les étapes de la prise d'empreinte pour couronne implanto-portée**

<https://www.3dcelo.com/les-techniques-empreinte-en-implantologie/> (consulté le 27/09/2020)

Un scan post ou un tibase est trans-vissé sur l'implant. Ce sont des pièces métalliques qui dépassent plus ou moins de la gencive. Sur ces pièces, un scan body est clipsé. Une seconde empreinte enregistre la position du scan body. Puis les mêmes empreintes de l'arcade antagoniste et de l'occlusion en OIM sont réalisées après dépose du scan body.



**Figure 19 : Conception des couronnes implanto-portées par CFAO**

<https://www.sapoimplant.com/publications/page/2/> (consulté le 27/09/2020)

### 3. Réalisation des guides chirurgicaux

Dans cette partie, nous allons décrire trois possibilités de production de guide chirurgical. [9]

#### 3.1. Passage d'un guide radiologique à un guide chirurgical

Le guide chirurgical étant une copie du guide radiologique, il est possible d'utiliser ce dernier au moment de la chirurgie. Pour le transformer en guide chirurgical, un axe de forage est percé dans le guide radiologique, conformément à la planification implantaire. Des tubes en laiton, en aluminium ou en acier sont collés dans ces axes, pour permettre le passage des forets chirurgicaux.

## 3.2. Production du guide chirurgical par CFAO (impression 3D)

### 3.2.1. Par un fabricant extérieur

Comme mentionnée précédemment, il est possible fusionner un cone beam et une empreinte optique. Pour se faire, on réalise un « matching » des données DICOM et des données STL, issues de l'empreinte virtuelle.



Figure 20 : Matching d'un fichier DICOM et d'un fichier STL

<https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/implantologie/chirurgie-assistee-par-ordinateur-la-navigation-dynamique-systeme-x-guide/> (consulté le 27/09/2020)

Une fois la planification faite, l'ensemble est envoyé au laboratoire. Ce dernier produit le guide chirurgical via une imprimante 3D selon le principe de stéréolithographie.

Le guide est ensuite retourné au cabinet, essayé en bouche puis utilisé pendant l'intervention.

### 3.2.2. Directement au cabinet

La séquence de réalisation est identique à celle faite par un fabricant extérieur.

La réalisation directement au cabinet implique la présence d'une imprimante 3D compétente mais également le traitement post-impression du guide chirurgical. En effet, le guide doit être stérile au moment de la chirurgie.

- Protocole de traitement du guide après impression : [22]
  - Dégraissage dans deux bains d'alcool isopropylique (IPA) à 96% ou plus pendant 5 minutes (maximum 20 minutes pour ne pas fragiliser les pièces) pour éliminer les résidus de résine non polymérisés. Séchage à l'air libre ou à l'air comprimé pour éliminer l'IPA des surfaces. La totalité de la résine liquide doit être supprimée avant la photopolymérisation.
  - Photopolymérisation des pièces pour assurer la stabilité dimensionnelle du guide : le guide doit être exposé à la lumière UV et à la chaleur pour acquérir la biocompatibilité et les propriétés mécaniques optimales. Le temps de cuisson UV dépendra de l'intensité de la lumière et de la température interne de la chambre de cuisson utilisée.
  - Retrait des supports avec une pince coupante, des disques de coupes ou autre
  - Polissage du guide avec du papier de verre à gros grains ou d'une pierre ponce et d'un instrument de polissage
  - Mise en place des manchons de guidage en métal (ou titane) par friction, sans agent de liaison (on parle de frettage)
  - Stérilisation sous poche (dans un autoclave, avant l'intervention chirurgicale)



**Figure 21: Changements de couleur d'un guide chirurgical pendant le protocole de traitement après impression**

<https://www.dentisfuturis.com/comment-imprimer-un-guide-chirurgical-au-cabinet-dentaire-avec-la-form2-de-formlabs/> (consulté le 27/09/2020)

Il existe de multiples imprimantes 3D ayant des coûts d'acquisition plus ou moins importants. Dans le cadre de l'omni pratique, les guides chirurgicaux ne sont pas produits à grande échelle : l'imprimante n'est pas utilisée en continue et la rentabilité est une notion importante à prendre en compte. Il faut compter environ 1h45 pour imprimer un guide chirurgical.

L'imprimante **Form3** de l'entreprise Formlabs est une imprimante 3D qui fonctionne selon le principe de stéréolithographie (décrit précédemment). Formlabs l'a décrite comme étant une « imprimante de bureau » grâce à son petit format et son prix adapté (environ 3300€) à un usage « occasionnel ». Sa résolution est de 25 microns. Elle utilise une technologie d'impression appelée « Low Force Stereolithographie » : la photopolymérisation de la résine liquide est faite grâce à des lasers et des miroirs. La partie responsable de l'éclairage est appelée : « lights processing unit » (LPU).



**Figure 22: Photo d'une imprimante Form 3**

Source : Formlabs