



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>

**UNIVERSITE CLAUDE BERNARD-LYON I  
U.F.R. D'ODONTOLOGIE**

Année 2015

THESE N° 2015 LYO 1D 57

**T H E S E  
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE**

**Présentée et soutenue publiquement le jeudi 10 décembre 2015**

**par**

**DESCOMBAZ Charles**

**Né le 19 mai 1989, à Dijon (21)**

---

**Accès aux limites de préparation  
lors de la numérisation en CFAO dentaire**

---

**JURY**

<b>Mme la Pr Catherine MILLET</b>	<b>Présidente</b>
<b>Mme le Dr Sarah CHAUTY</b>	<b>Assesseur</b>
<b>M le Dr Jean-Pierre DUPREZ</b>	<b>Assesseur</b>
<b><u>M le Dr Maxime DUCRET</u></b>	<b><u>Assesseur</u></b>

# UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I

Président de l'Université	M. le Professeur F-N. GILLY
Vice-Président du Conseil d'Administration	M. le Professeur H. BEN HADID
Vice-Président du Conseil Scientifique et de la Commission de Recherche	M. le Professeur P-G. GILLET
Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire et de la Commission de la Formation et de la Vie Universitaire	M. le Professeur P. LALLE

## SECTEUR SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est	Directeur : M. le Professeur. J. ETIENNE
Faculté de Médecine et Maïeutique Lyon-Sud Charles Mérieux	Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON
Faculté d'Odontologie	Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS
Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques	Directrice : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA
Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation	Directeur : M. le Professeur Y. MATILLON
Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine	Directrice : Mme la Professeure A.M. SCHOTT

## SECTEUR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Faculté des Sciences et Technologies	Directeur : M. F. DE MARCHI, Maître de Conférences
UFR des Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives	Directeur : M. Y. VANPOULLE, Professeur Agrégé
Institut Universitaire de Technologie Lyon 1	Directeur : M. le Professeur C. VITON
Ecole Polytechnique Universitaire de l'Université Lyon 1	Directeur : M. P. FOURNIER
Institut de Science Financière et d'Assurances	Directeur : M. N. LEBOISNE, Maître de Conférences
Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education (ESPE)	Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE
Observatoire de Lyon	Directeur : M. B. GUIDERDONI, Directeur de Recherche CNRS
Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique	Directeur : M. G. PIGNAU

# FACULTE D'ODONTOLOGIE DE LYON

<b>Doyen</b>	:	M. Denis BOURGEOIS, Professeur des Universités
<b>Vice-Doyen</b>	:	Mme Dominique SEUX, Professeure des Universités
<b>Vice-Doyen</b>	:	M. Stéphane VIENNOT, Maître de Conférences
<b>Vice-Doyen Etudiant</b>	:	Mlle DARNE Juliette

## **SOUS-SECTION 56-01:**

### **PEDODONTIE**

Professeur des Universités :	<u>M. Jean-Jacques MORRIER</u>
Maître de Conférences :	M. Jean-Pierre DUPREZ

## **SOUS-SECTION 56-02 :**

### **ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

Maîtres de Conférences :	Mme Sarah GEBEILE-CHAUTY, <u>Mme Claire PERNIER</u> ,
--------------------------	---

## **SOUS-SECTION 56-03 :**

### **PREVENTION - EPIDEMIOLOGIE ECONOMIE DE LA SANTE - ODONTOLOGIE LEGALE**

Professeur des Universités	M. Denis BOURGEOIS
Professeur des Universités Associé :	M. Juan Carlos LLODRA CALVO
Maître de Conférences	<u>M. Bruno COMTE</u>

## **SOUS-SECTION 57-01 :**

### **PARODONTOLOGIE**

Maîtres de Conférences :	Mme Kerstin GRITSCH, <u>M. Philippe RODIER</u> ,
--------------------------	--

## **SOUS-SECTION 57-02 :**

### **CHIRURGIE BUCCALE - PATHOLOGIE ET THERAPEUTIQUE ANESTHESIOLOGIE ET REANIMATION**

Maître de Conférences :	Mme Anne-Gaëlle CHAUX-BODARD, <u>M. Thomas FORTIN</u> , M. Jean-Pierre FUSARI, M. Arnaud LAFON
-------------------------	---

## **SOUS-SECTION 57-03 :**

### **SCIENCES BIOLOGIQUES**

Professeur des Universités :	<u>M. J. Christophe FARGES</u>
Maîtres de Conférences :	Mme Béatrice RICHARD, Mme Béatrice THIVICHON-PRINCE, M. François VIRARD

## **SOUS-SECTION 58-01 :**

### **ODONTOLOGIE CONSERVATRICE - ENDODONTIE**

Professeur des Universités :	M. Pierre FARGE, M. <u>Jean-Christophe MAURIN</u> , Mme Dominique SEUX
Maîtres de Conférences :	Mme Marion LUCCHINI, M. Thierry SELLI, M. Cyril VILLAT

## **SOUS-SECTION 58-02 :**

### **PROTHESE**

Professeurs des Universités :	M. Guillaume MALQUARTI, Mme Catherine MILLET
Maîtres de Conférences :	M. Christophe JEANNIN, M. Renaud NOHARET, <u>M. Gilbert VIGUIE</u> , M. Stéphane VIENNOT

## **SOUS-SECTION 58-03 :**

### **SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES OCCLUSODONTIQUES, BIOMATERIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE**

Professeur des Universités :	Mme Brigitte GROSGOGEAT, <u>M. Olivier ROBIN</u>
Maîtres de Conférences :	M. Patrick EXBRAYAT, Mme Sophie VEYRE-GOULET
Maître de Conférences Associé :	AYARI Hanène

## **SECTION 87 :**

### **SCIENCES BIOLOGIQUES FONDAMENTALES ET CLINIQUES**

Mme Florence CARROUEL

A notre présidente du jury,

**Madame la Professeure Catherine MILLET**

Professeure des Universités à l'UFR d'Odontologie de Lyon  
Praticien-Hospitalier  
Docteur en Chirurgie Dentaire  
Docteur de l'Université Lyon I  
Habilité à Diriger des Recherches

*Nous vous remercions pour l'honneur que vous nous faites en acceptant la présidence de ce jury de thèse.*

*Merci pour votre aide et votre disponibilité dans l'élaboration de notre travail.*

*Tout au long de ces années, vous avez eu la patience de nous faire partager votre expérience ainsi que votre passion en prothèse complète.*

*Nous sommes fiers d'avoir pu suivre votre enseignement.*

*Merci d'avoir toujours été présente et d'avoir toujours pris le temps de répondre à nos questions.*

*Nous vous prions d'agréer l'expression de notre immense respect et de croire en notre profonde reconnaissance.*

A nos juges,

**Madame le Docteur Sarah CHAUTY**

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon  
Praticien-Hospitalier  
Docteur en Chirurgie Dentaire  
Ancien Interne en Odontologie  
Spécialiste qualifié en ODF

*Nous vous remercions du plaisir que vous nous faites en siégeant parmi nos juges.*

*Merci pour votre aide, votre disponibilité et vos conseils dans l'élaboration de notre travail.*

*Nous vous témoignons notre reconnaissance pour la qualité et la rigueur de votre enseignement en orthodontie.*

*Veillez trouver ici l'expression de notre profonde reconnaissance et de nos respectueux remerciements.*

A nos juges,

**Monsieur le Docteur Jean-Pierre DUPREZ**

Maître de Conférences à l'UFR d'Odontologie de Lyon  
Praticien-Hospitalier  
Docteur en Chirurgie Dentaire  
Docteur en Sciences Odontologiques  
Habilitation à Diriger des Recherches

*Nous vous remercions du plaisir que vous nous faites en siégeant parmi nos juges.*

*Nous garderons en mémoire nos vacations cliniques de pédodontie à vos côtés le mercredi matin.*

*Vous avez toutes ces années su nous faire partager votre immense expérience.*

*Veillez trouver ici l'expression de nos sincères salutations et de notre profond respect.*

A notre directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur Maxime DUCRET**

Assistant hospitalo-universitaire au CSERD de Lyon  
Docteur en Chirurgie Dentaire

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la direction de cette thèse.*

*Je vous suis reconnaissant pour vos précieux conseils dans l'élaboration de ce travail ainsi que pour votre rapidité de correction.*

*Merci d'avoir su vous rendre disponible lorsque je vous ai sollicité.*

*Vous avez su me faire partager votre passion, ainsi que votre rigueur.*

*Veillez trouver dans cette thèse l'expression de mes sincères remerciements et de mon profond respect.*

# Accès aux limites de préparation lors de la numérisation en CFAO dentaire

## SOMMAIRE

<b>Introduction</b> .....	1
<b>1. Méthode de numérisation en CFAO dentaire</b> .....	2
<b>1.1. Apport de la CFAO en odontologie</b> .....	3
<b>1.2. Les différents systèmes de CFAO</b> .....	7
<b>1.2.1. CFAO indirecte</b> .....	7
<b>1.2.2. CFAO semi-directe</b> .....	8
<b>1.2.3. CFAO directe ou « chair-side »</b> .....	10
<b>1.2.4. Choix d'un système de CFAO et connaissance des « workflows »</b> .....	12
<b>1.3. Numérisation par empreinte optique intra buccale</b> .....	14
<b>1.3.1. Empreinte optique intra buccale vs Empreinte conventionnelle</b> .....	16
<b>1.3.2. Limites et causes d'imprécisions en empreinte optique</b> .....	20
<b>2. Techniques de mise en condition gingivale en prothèse fixée</b> .....	26
<b>2.1. Définition et situation anatomique</b> .....	26
<b>2.1.1. Contexte parodontal et choix d'une technique</b> .....	27
<b>2.2. Les différentes techniques</b> .....	29
<b>2.2.1. Technique chirurgicale</b> .....	29
<b>2.2.2. Technique mécanique</b> .....	30
<b>2.2.2.1. Cordonnets rétracteurs</b> .....	30
<b>2.2.2.2. Prothèse provisoire et autres</b> .....	31
<b>2.2.3. Technique chimique</b> .....	32
<b>2.2.3.1. Les solutions</b> .....	33
<b>2.2.4. Technique mécanico-chimique</b> .....	34
<b>2.2.4.1. Pâte de déflexion</b> .....	34
<b>2.2.4.2. Technique hybride</b> .....	35
<b>2.2.4.3. Avantages et inconvénients (fig. 34)</b> .....	36
<b>2.3. Conséquences parodontales</b> .....	36

<b>3. Choix d'une technique d'accès et de numérisation adaptées à la situation.</b> .....	38
<b>3.1. Situation des limites de préparation</b> .....	38
<b>3.1.1. Limites supra-gingivales</b> .....	38
<b>3.1.2. Limites juxta et légèrement infra-gingivales (<math>\leq 0,2</math> mm)</b> .....	39
<b>3.1.3. Limites très infra-gingivales (<math>&gt; 0,2</math> mm)</b> .....	41
<b>3.1.3.1. Empreinte optique intra buccale</b> .....	41
<b>3.1.3.2. Scannage d'une empreinte conventionnelle</b> .....	44
<b>3.1.3.3. Alternative par imagerie 3D</b> .....	47
<b>3.1.3.3.1. CBCT</b> .....	47
<b>3.1.3.3.2. Scanner intraoraux à ultrasons</b> .....	49
<b>3.2. Tableau de recommandations</b> .....	50
<b>Bibliographie</b> .....	52
<b>Lexique</b> .....	57

# Introduction

Il y a plus de 40 ans, le professeur François Duret inventait la CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur) dentaire. Elle a depuis beaucoup évolué et s'est installée progressivement dans notre profession. Cette technique trouve désormais sa place dans toutes nos spécialités et nous offre de nouvelles perspectives de traitement. La CFAO est aujourd'hui omniprésente dans les salons dentaires internationaux (IDS de Cologne...) et nationaux (ADF, ARIA CAD-CAM...). Sa part d'exposition lors de ces événements augmente chaque année et l'offre en matériel spécifique ne cesse de croître.

En effet, la CFAO dentaire a permis au laboratoire d'améliorer la précision, la reproductibilité et la diversité des matériaux disponibles pour les réalisations prothétiques (1). A l'heure actuelle, plus de 43 % des laboratoires sont équipés d'au moins une solution de CFAO. Ce pourcentage invite les praticiens à s'intéresser à l'empreinte numérique afin de s'affranchir de l'empreinte classique qui représente le dernier « maillon faible » d'une chaîne artisanale avec tous ses risques d'erreurs (2). Même si seulement 3-4 % des 40 000 chirurgiens-dentistes en France seraient équipés de technologie permettant l'acquisition numérique au cabinet, un récent sondage rapporte que de nombreux cabinets déclarent envisager d'acquérir ces systèmes (3).

Si la CFAO a fait évoluer notre pratique quotidienne en remplaçant certaines techniques, de nouveaux gestes sont alors à acquérir et à maîtriser. A ce titre, la prise d'empreinte optique intra buccale à l'aide d'un scanner intra oral est une nouvelle méthode à assimiler. Elle optimise d'ailleurs la CFAO dentaire en permettant de s'affranchir de différentes étapes laboratoires sources d'imprécisions. Le chirurgien-dentiste désireux de faire de la CFAO dentaire sera confronté à diverses situations délicates telles que la numérisation de limites cervicales en situation infra gingivale. **Ainsi notre travail s'intéresse à rechercher les procédures à mettre en œuvre pour accéder à ces limites de préparation et les différentes techniques de numérisation permettant d'accéder à la CFAO.**

Dans un premier temps, nous allons présenter la CFAO ainsi que les différentes méthodes de numérisation permettant d'y accéder. Ensuite, nous rappellerons les techniques de mise en condition gingivale indispensable en prothèse fixée pour accéder aux limites cervicales lors de la séance d'empreinte. Enfin, nous proposerons un tableau de recommandations permettant d'orienter nos choix dans des techniques d'accès et de numérisation des limites de préparation adaptées à la situation clinique.

# 1. Méthode de numérisation en CFAO dentaire

Le sigle **CFAO** signifie littéralement **C**onception et **F**abrication **A**ssistées par **O**rdinateur. En anglais, la CFAO se dit CAD-CAM (Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing). Appliquée à notre profession, la CFAO dentaire regroupe toutes les étapes permettant de réaliser une prothèse dentaire via une chaîne numérique et non artisanale. Les trois principales étapes de cette chaîne sont (**fig. 1**) :

- L’**A**cquisition Numérique en 3D, ou Numérisation
- La CAO, **C**onception **A**ssistée par **O**rdinateur
- La FAO, **F**abrication **A**ssistée par **O**rdinateur



**fig. 1** – Les étapes de la chaîne de production numérique pour la réalisation de prothèse dentaire par CFAO.

La première étape de numérisation est réalisée grâce à un scanner. Elle peut avoir lieu directement en bouche ou indirectement à partir des informations issues d’une empreinte classique. La CAO est une modélisation informatique de la prothèse assurée par des logiciels de conception ou « Software ». Enfin, des équipements à commande numérique fonctionnant par addition (prototypage, fusion laser) ou soustraction (usinage) vont fabriquer la prothèse, c’est l’étape de la FAO.

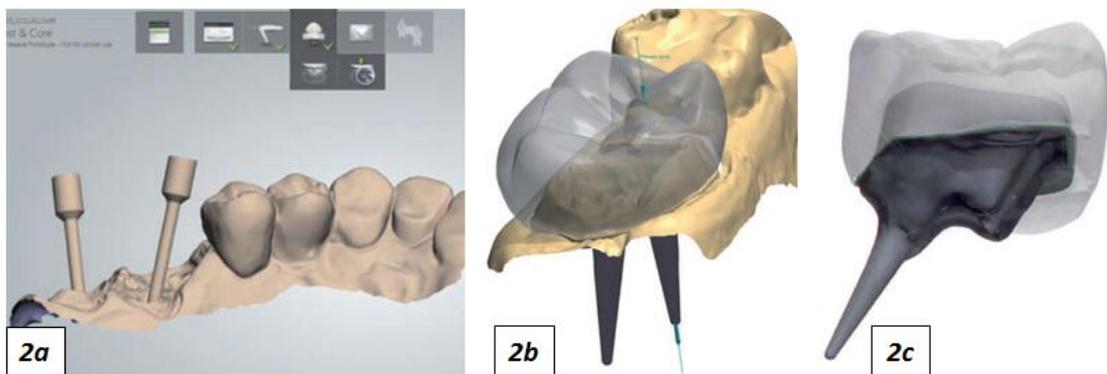
Depuis sa découverte, la dentisterie numérique a progressivement envahi les cabinets. La CFAO dentaire atteint un stade où il devient indispensable de connaître son fonctionnement (4). Cette évolution s’est faite progressivement en débutant dans les laboratoires de prothèses et gagne

aujourd'hui tous les domaines de notre pratique. La part des techniques artisanales ne cesse de diminuer au profit d'un flux numérique permettant d'obtenir des infrastructures d'un même niveau de qualité avec un gain de temps, une grande fiabilité et une excellente reproductibilité (5).

### 1.1. Apport de la CFAO en odontologie

- Omnipratique :

La CFAO s'impose dans notre pratique actuelle. Elle nous permet de réaliser des restaurations prothétiques unitaires en direct (inlay, onlay, facette, couronne), des inlays-core (**fig. 2**), des armatures de bridge petite ou grande étendue (**fig. 3**), ou encore des châssis métalliques de type stellite (6–8).

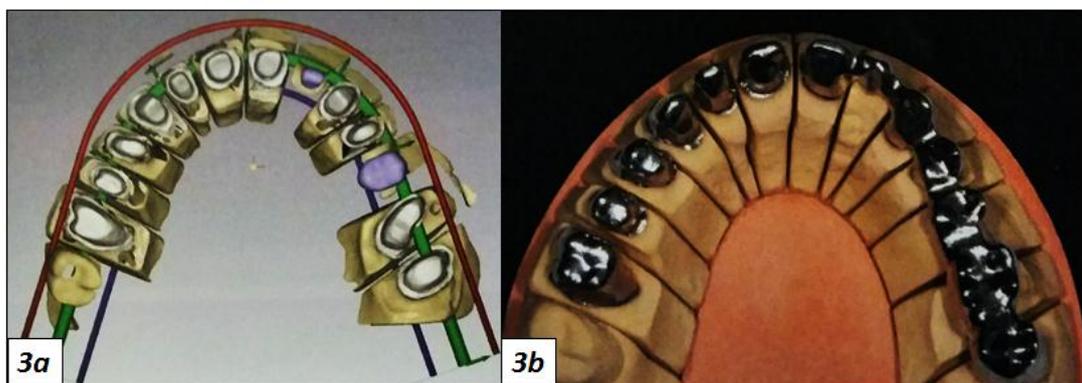


**fig. 2** – Réalisation d'inlays-core par CFAO (9).

**a** – Numérisation en situation, de corps de scannage ou scan body (tenon de référence, nécessaire pour la profondeur).

**b** – Conception sur logiciel CAO de l'inlay-core et couronne.

**c** – Inlay core et couronne réalisés en une seule étape par CFAO (Trios 3Shape).



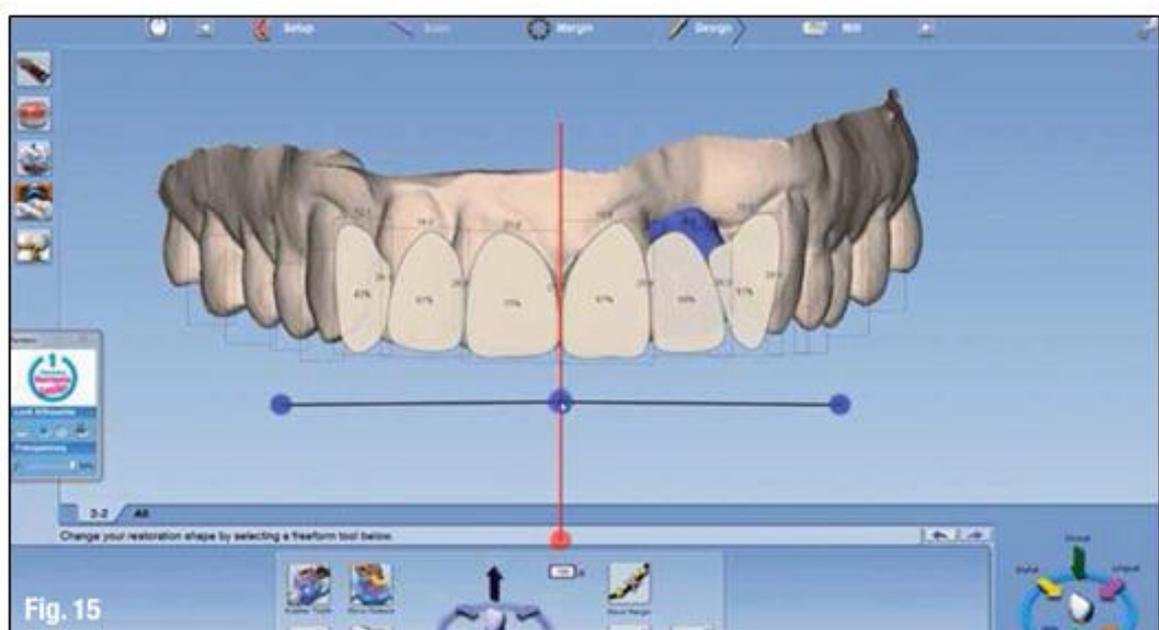
**fig. 3** – Réhabilitation prothétique de grande étendue par CFAO (10).

**a** – Conception de l'armature sur logiciel de CAO.

**b** – Chappes métalliques en cobalt-chrome après usinage.

- Esthétique :

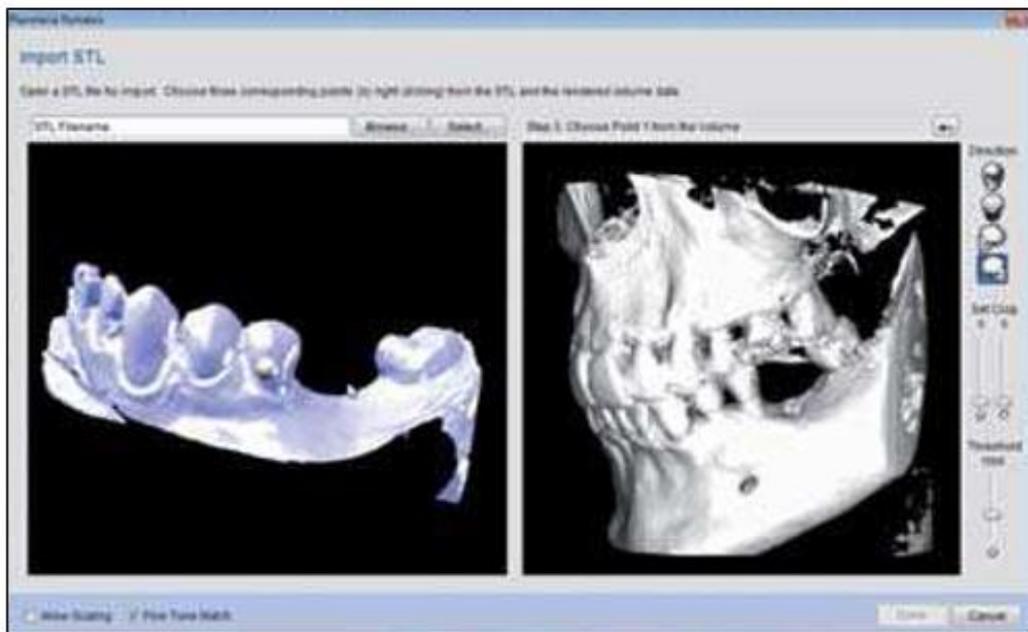
Il est également possible, à l'étape de conception de la prothèse, d'intégrer nos restaurations antérieures dans le sourire du patient grâce à des logiciels qui insèrent une photographie (Smile Design de Sirona, de Planmeca, Smile Composer de 3Shape) afin d'optimiser l'esthétisme final (**fig. 4**) (9,11). Ces fonctions de planification du sourire à l'étape de CAO peuvent faire appel à des logiciels tiers tels que le Digital Smile Design afin que ses fichiers 2D soient exportés, convertis (en STL = Standard Tessellation Language) et inclus dans le logiciel de CAO (12).



**fig. 4** - Planification du sourire à partir d'une empreinte optique avec un logiciel de conception (Planmeca Romexis Smile Design) (12).

- Imagerie à rayons X :

A l'heure actuelle, il est possible d'associer les fichiers 3D des empreintes optiques aux fichiers 3D issues de l'imagerie à rayons X pour l'obtention de modèles en 3D encore plus précis affichant les supports à la fois osseux, dentaires et muqueux. Par exemple, le logiciel « Romexis » de Planmeca peut fusionner des données DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medecine) et STL afin de superposer une empreinte optique aux images de la tomographie 3D (**fig. 5**). Cette association est d'un grand intérêt en implantologie et en orthodontie (13).



**fig. 5** - Superposition des images issues d'une empreinte optique et de tomographie 3D par un logiciel de conception et planification (Planmeca) (12).

D'autre part, il existe des scanners faciaux qui sont intégrés au CBCT (Cone Beam Computed Tomography) pour former un « unit à rayons X 3D » (Planmeca ProMax®3D ProFace, ou FaceScanner intégré à GALILEOS Sirona) permettant de réaliser un scan facial en plus du Cone Beam. La fusion dans le logiciel de CAO des données issues du Cone Beam (relief osseux), de scan facial (visage du patient) et de l'empreinte optique intra-buccale (relief dentaire et muqueux) permet de créer un véritable patient virtuel (3). En plus d'être un élément de communication, il permet de faciliter la planification de nos traitements (14).

- Implantologie :

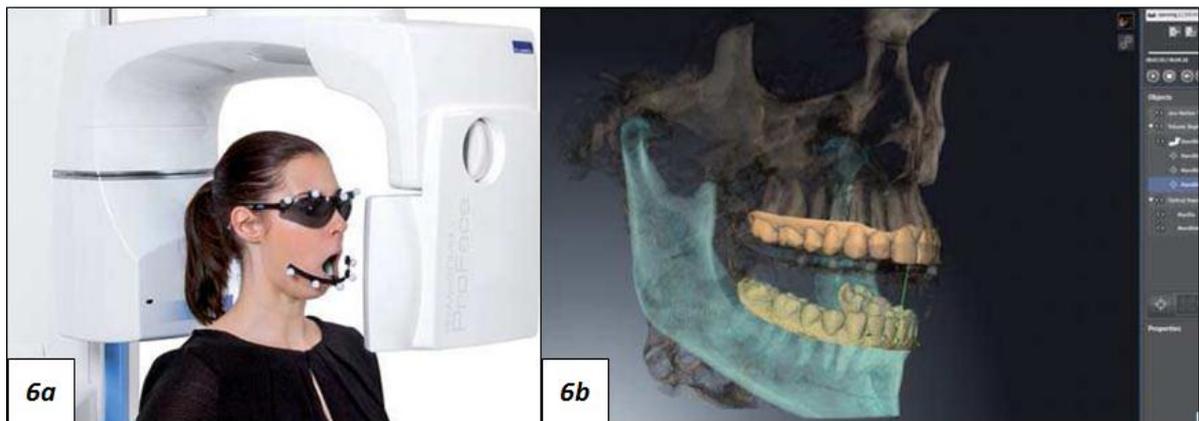
La CFAO occupe une place de plus en plus importante en implantologie notamment avec la réalisation de guides chirurgicaux, de pilier anatomique, d'armature, de reconstitution en directe implant, de reconstitution plurale avec une grande précision permettant une excellente passivité des armatures (15). L'association Cone-Beam / empreinte optique / scan facial est d'un grand intérêt à l'étape de la planification implantaire pour le respect des règles d'émergence implantaire et d'axe prothétique (13). Il est ainsi possible de réaliser un wax-up virtuel et de définir l'axe implantaire correspondant. A partir de ces données, un guide chirurgical est usiné ou imprimé (impression 3D) et les piliers anatomiques et prothèses provisoires sont préparés pour le jour de la chirurgie (12). La prédictibilité de résultats cliniquement acceptables est alors optimale (16,17). Il est aussi possible de réaliser en une séance unique par CFAO directe, une couronne unitaire sur implant (11).

- Orthodontie :

Elle trouve une indication en orthodontie, avec des logiciels CAO de planification qui simplifient le traitement (16). Par exemple, le collage des brackets est optimisé avec des gouttières faites sur mesure. De même, des gouttières d'alignement (système Invisalign d'Align Technologies, DentoSmile de Biotech...) peuvent être aussi réalisées à partir d'empreintes optiques (18).

- Gestion de l'occlusion :

La gestion de l'occlusion par informatique devient de plus en plus pertinente. Elle est éprouvée dans le cas de conception de prothèses unitaires et pour les réhabilitations de petite étendue (19). Elle fait appel à des simulateurs de mouvement ou articulateurs virtuels, présents dans la base de données des logiciels. Pour les situations plus complexes, où des paramètres occlusaux sont à redéfinir (tels que le guidage, le calage, la position mandibulaire...), il était nécessaire jusqu'à maintenant de monter les modèles sur articulateur physique avant de les transférer par scannage (= numérisation) sur le logiciel de conception (19). A présent, de nouveaux articulateurs virtuels (« Système 4D Jaw Motion » de Planmeca, « Jaw Motion Tracker » (SICAT JMT+) de Sirona) sont capables de réaliser un enregistrement dynamique de l'occlusion par une analyse des mouvements mandibulaires réels du patient dans le temps. Cet enregistrement est couplé avec un scan CBCT qui lui-même est associé à une empreinte optique intra-buccale (**fig. 6**) (12).



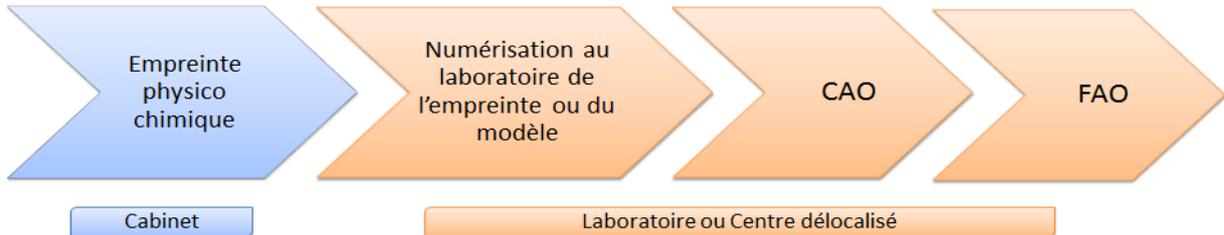
**fig. 6** – Analyse de l'occlusion dynamique lors de la réalisation de prothèse par CFAO (12).

**a** – Système 4D Jaw Motion de Planmeca : enregistrement dynamique de l'occlusion couplé avec un scan CBCT.

**b** – Système Jaw Motion Tracker (SICAT JMT+) de Sirona : l'empreinte numérique des arcades complètes réalisée avec l'Omnica est associée.

## 1.2. Les différents systèmes de CFAO

### 1.2.1. CFAO indirecte



**fig. 7** - Les étapes de réalisation d'une prothèse dentaire par CFAO indirecte : une empreinte classique est réalisée au cabinet puis envoyée au laboratoire. Les informations issues de cette empreinte sont numérisées afin de procéder aux étapes de conception et fabrication assistées par ordinateur.

Elle est réalisée au laboratoire, par le prothésiste à partir d'un modèle de travail en plâtre issu d'une empreinte conventionnelle de la situation en bouche (**fig. 7**).

La numérisation du volume peut être réalisée de manière optique ou mécanique (par palpation du modèle) (20). Le scannage optique est effectué sur l'empreinte ou sur le modèle physique (**fig. 8**). Notons que le scannage de l'empreinte permet de s'affranchir de l'étape de coulée en plâtre qui est chronophage et source d'imprécision (2).



**fig. 8** – Numérisation indirecte par scannage optique.  
**a** – Scannage de l'empreinte silicone (21).  
**b** – Scannage du maître modèle en plâtre (22).

L'acquisition numérique permet de réaliser à partir d'un logiciel un maître modèle virtuel sur lequel les différents éléments prothétiques sont modélisés. Les éléments prothétiques sont ensuite usinés par une machine-outil qui peut être sur place ou délocalisée (les données numérisées sont transmises par internet) (23).

### 1.2.2. CFAO semi-directe



**fig. 9** – Les étapes de réalisation d'une prothèse dentaire par CFAO semi-directe : la numérisation est réalisée directement en bouche à l'aide d'un scanner intra-oral. Le fichier numérique est envoyé au laboratoire pour effectuer les étapes de conception et fabrication assistées par ordinateur.

La CFAO semi-directe repose sur la réalisation d'une empreinte optique intra-buccale enregistrée par le praticien (Numérisation directe) et envoyée via Internet à un laboratoire ou à un centre d'usinage pour la modélisation et fabrication (CAO-FAO) (**fig. 9**). Dans ce système la caméra optique est perçue comme un « porte-empreintes électroniques ». Elle se présente sous plusieurs versions ou systèmes (**fig. 10**) (14,18):

- les **stations ou chariots**, qui assemblent la caméra optique à un moniteur roulant incluant un logiciel de traitement des informations numériques. C'est une version prête à l'emploi.
- les **caméras portatives connectables** sur port USB ou « FireWire » (système de connexion entre périphérique permettant de faire circuler des données à haute vitesse en temps réel) (24). Celles-ci peuvent se connecter à notre ordinateur portable et possède un socle de repos ou non.
- Il existe enfin des **units dentaire qui intègrent directement la caméra optique** ainsi qu'un écran (tablette Android ou Apple...). Cette version s'installe progressivement car elle rend l'utilisation plus aisée, plus rapide à mettre en place et avec moins d'encombrement (Planmeca, Sirona, 3Shape, GC) (12).



**fig. 10** – Les différents systèmes d’empreinte optique intra-buccale (9)(11).

**a** – Les caméras sur chariot, de gauche à droite, l’Apollo DI (Sirona), le True Definition (3M), la TRIOS (3Shape), la MiA3d (densys3D).

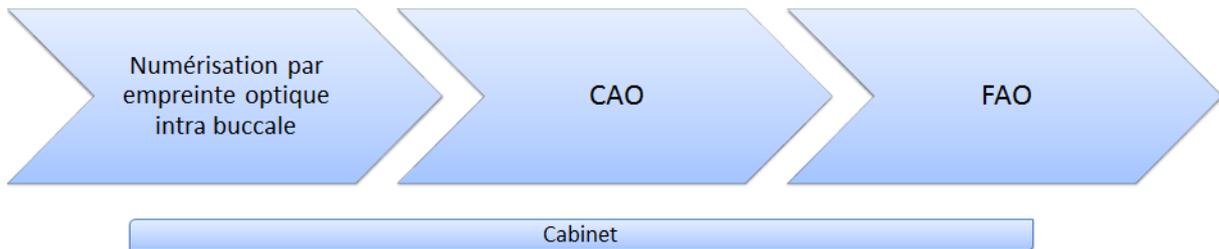
**b** – Les caméras connectables, de gauche à droite, la TRIOS Pod 3Shape, le CONDOR Intra Oral Scanner, la CYRTINA Intrascan.

**c** – Les caméras intégrées à l’unit, PLANSCAN (Planmeca).

Au laboratoire, les nombreuses étapes artisanales de traitement de l’empreinte conventionnelle sont remplacées par un traitement informatique simplifié de l’empreinte optique. Cela représente un gain de temps et une diminution des risques d’erreurs. Le prothésiste peut, suivant la complexité du cas, réaliser un modèle physique (imprimé, usiné, stéréolithographique) et ainsi avoir accès aux méthodes conventionnelles si nécessaire (chaîne partiellement virtuelle). Le modèle physique permet la gestion des restaurations plurales étendues qui imposent un montage en articulateur, ou des cas esthétiques qui nécessitent une stratification céramique sur armature (25). Ce modèle est extrêmement précis (de l’ordre du micron) par rapport au modèle en plâtre et les limites de finition et points de contacts ne se détériorent pas pendant les étapes de réalisation prothétique. En revanche la fabrication de ces modèles par usinage ou procédé additif va augmenter le coût de revient de la restauration (par rapport à un modèle en plâtre). Les délais de réalisation en CFAO semi-directe sont comparables à ceux des techniques conventionnelles, de l’ordre de cinq jours.

La CFAO semi-directe permet de conserver une étroite collaboration avec le laboratoire de prothèse et de profiter ainsi de l’expertise du prothésiste dans la conception de prothèse dentaire, dans le maniement des poudres de stratification s’il y a lieu et dans la maîtrise des procédés de mise en œuvre pour des matériaux plus sophistiqués.

### 1.2.3. CFAO directe ou « chair-side »



**fig. 11** – Les étapes de réalisation d'une prothèse dentaire par CFAO directe : les différentes étapes de la chaîne numérique se déroulent au sein du cabinet dentaire.

Dans cette approche, les trois grandes étapes de la CFAO se font au sein du cabinet dentaire et, dans l'idéal, lors d'une séance clinique (**fig. 11**). L'empreinte est réalisée par une caméra intra-buccale utilisant un principe optique. La numérisation se fait par le traitement de ces ondes lumineuses et aboutit à un modèle virtuel de la situation clinique. Un logiciel informatique permettant la conception de la restauration sur les modèles virtuels se trouve sur l'unité d'acquisition. La fabrication est ensuite faite par usinage dans une machine-outil à commande numérique (**fig. 12**) (11).



**fig. 12** – Les étapes de CFAO directe au cabinet dentaire (Système Cerec de Sirona) (11).  
**a** – Empreinte optique intra-buccale avec l'Omniscam Cerec.  
**b** – Conception de la pièce prothétique sur le logiciel Cerec 4.  
**c** – Usinage par la machine outil à commande numérique Cerec MC XL au sein du cabinet dentaire.

Des systèmes complets sont commercialisés aujourd'hui et ils sont composés d'une unité d'acquisition comportant la caméra intra-buccale, un logiciel de traitement des informations, un logiciel de CAO et un logiciel de commande numérique pour piloter la machine-outil. Carestream Dental propose depuis 2013 un système complet pour CFAO directe pouvant inclure un CBCT (Cone Beam Computed Tomography) en plus du scanner intra-oral afin de pouvoir scanner les empreintes silicones (**fig. 13**). Le même logiciel informatique pilote la numérisation par CBCT ou

caméra intra-buccale et il convertit les fichiers DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medecine) issues du CBCT en fichiers STL pour les étapes suivantes de conception et fabrication (3).



**fig. 13** – Système complet pour CFAO directe de Carestream (3):

**a** – Tomographie 3D (Cone Beam) permettant de scanner des empreintes silicones.

**b** – Empreintes silicones scannées par le CBCT (« CS 9000 » ou « CS 9300 »).

**c** – Caméra optique intra-buccale « CS 3500 » avec deux embouts de tailles différentes.

**d** – Logiciel « CS Restore » permettant de concevoir la prothèse dentaire.

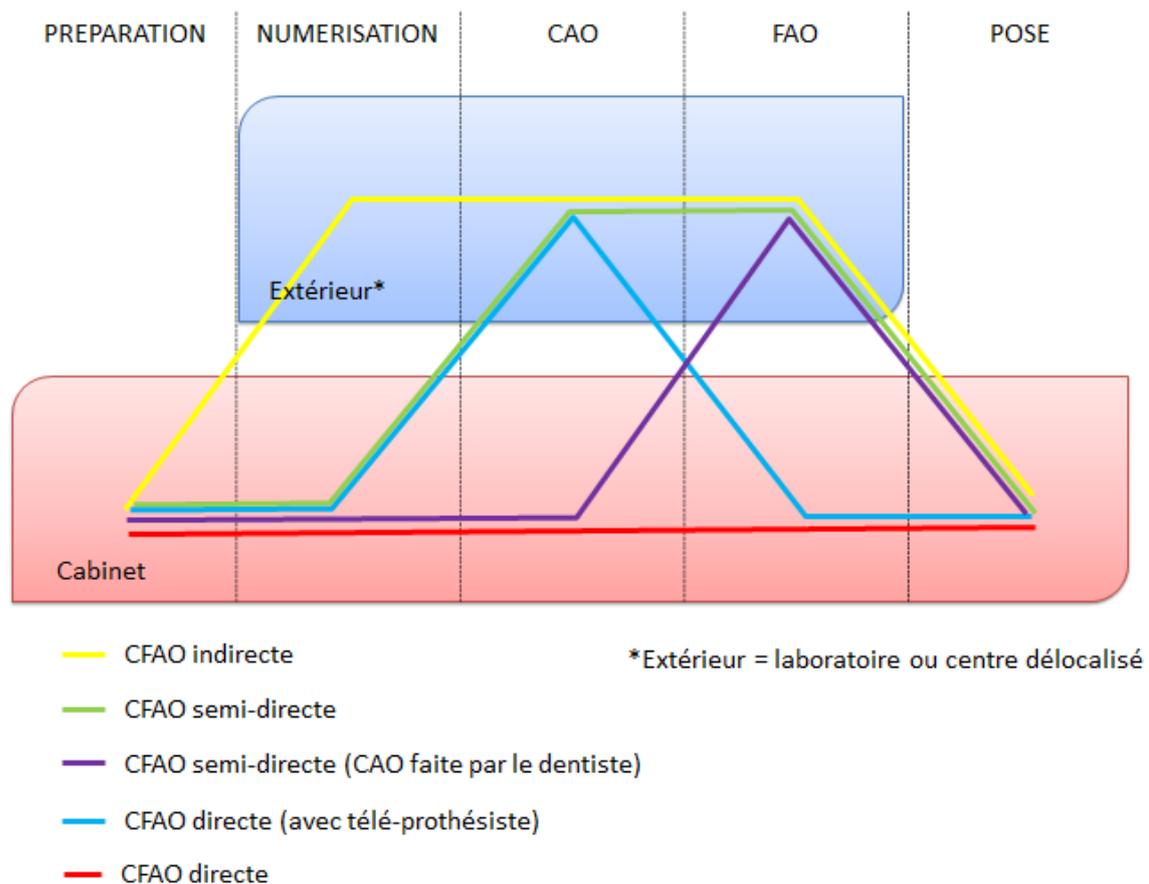
L'utilisation de la CFAO directe apporte un confort pour le praticien ainsi que pour le patient. Elle donne la possibilité au praticien de raccourcir la chaîne de réalisation tout en étant acteur décisionnaire des formes et des fonctions de l'élément obtenu. Le praticien doit connaître les possibilités et les limites de cet outil. Une parfaite connaissance des matériaux de restauration disponibles et des moyens d'assemblage adaptés est cependant indispensable avant d'initier une chaîne de CFAO directe, que ce soit pour les propriétés des matériaux ou pour leur protocole de mise en œuvre (16).

#### 1.2.4. Choix d'un système de CFAO et connaissance des « workflows »

**La CFAO semi-directe** ne constitue pas un changement notable dans l'organisation du cabinet ni dans celui du rythme des séances de soins et permet de traiter des cas plus complexes que la CFAO directe (remontée de DVO, couronnes adjacentes multiples..). Le choix de réalisation prothétique et de matériau est plus étendu et le résultat esthétique d'un céramiste est inégalable. Tout l'intérêt de ce système repose sur un choix de matériau adapté à chaque situation clinique tout en bénéficiant des avantages que procure l'empreinte optique intra-buccale. Cette méthode limite le coût au système d'empreinte (comparé à une chaîne complète de CFAO directe).

**La CFAO directe** permet quant à elle le traitement en une séance unique ce qui dégage un intérêt biologique (moindre agression dentino-pulpaire) et pratique (gain de temps pour le patient et le praticien) (6). La diminution du nombre de rendez-vous pour un même traitement couplée à l'allongement de leur durée représente des avantages en termes d'ergonomie (agenda allégé). Les patients sont sensibles à cette diminution du nombre de rendez-vous car ils passeront moins de temps dans les transports et en salle d'attente (26). Lors de cette séance unique, il est possible de réaliser des inlays-onlays unitaires ou multiples par quadrant, des couronnes ou encore des facettes (7). Récemment, des usineuses à cinq axes (ARCTICA de KaVo) ont vu le jour au cabinet dentaire pour fonctionner en « chair-side » (chair-side CAD-CAM signifie la CFAO directe au cabinet), ce qui garantit un usinage correct avec prise en compte des contre-dépouilles et de plusieurs axes d'insertion lors de l'usinage de l'intrados (prothèses plurales) (12,27).

**La CFAO indirecte** est particulièrement intéressante lors de réhabilitations de grande étendue voire d'arcade complète. En effet, les scanners intra-oraux montrent encore quelques imprécisions dans le scannage de grande étendue (cf p23). En revanche les scanners de laboratoire sont extrêmement précis, y compris dans la numérisation d'arcade complète. Il est alors pertinent de réaliser une empreinte conventionnelle (double mélange) puis de scanner au laboratoire le maître modèle ainsi que chaque MPU (Modèle Positif Unitaire) (10). D'autres situations comme une faible ouverture buccale ou des limites de préparation trop infra-gingivales ne permettent pas une prise d'empreinte optique intra-buccale correcte.



**fig. 14** – Synthèse des différentes possibilités lors de la réalisation d'une prothèse dentaire par CFAO:

- En CFAO indirecte, les étapes de numérisation, conception et fabrication assistée par ordinateur ont lieu à l'extérieur du cabinet.
- En CFAO semi-directe, la numérisation a lieu au cabinet dentaire. La conception est généralement confiée au prothésiste mais elle peut être effectuée par le dentiste au cabinet. Enfin la fabrication se fait à l'extérieur.
- En CFAO directe, la numérisation et la fabrication ont lieu au cabinet dentaire mais l'étape de conception peut être traitée par un télé-prothésiste à l'extérieur du cabinet.

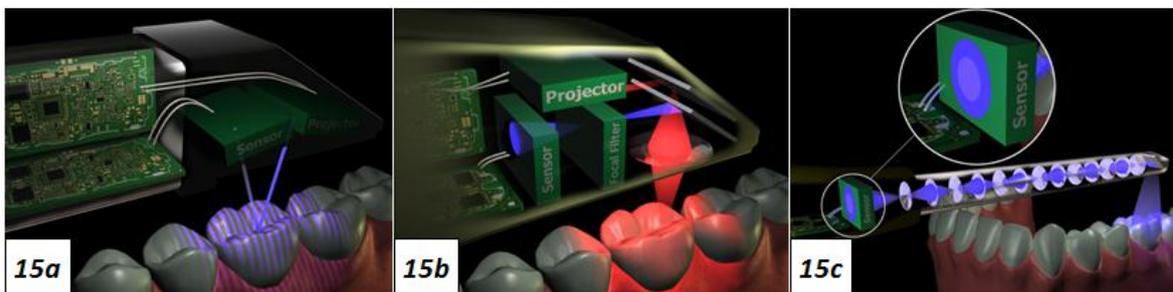
Les flux de travail en CFAO sont très divers et nous offrent de nombreuses possibilités en odontologie. La connaissance de ces différentes chaînes numériques ou « workflows » permettra au praticien de choisir le système qui lui convient (fig. 14). Il devra tenir compte de sa pratique, de sa patientèle et de son cabinet. Il est de même primordial de trouver le système qui répondra au mieux aux attentes du tandem prothésiste-praticien. Notons qu'aujourd'hui, plus de 43% des laboratoires de prothèses français sont équipés d'un système de CAO-FAO (ou uniquement de CAO s'ils délèguent la fabrication) contre 3 à 4 % des praticiens en CFAO directe et semi-directe. L'investissement financier important et le temps de formation nécessaire sont deux paramètres à ne pas négliger.

### 1.3. Numérisation par empreinte optique intra buccale

La numérisation, première étape de la CFAO, est réalisée par un scanner. Il existe principalement deux types de scanner :

- Scanner intra-oraux ou caméra optique intra buccale (au cabinet) : Il réalise une empreinte optique intra-buccale, permettant une numérisation directe. Leur précision est bonne et ils permettent de simplifier les futures étapes prothétiques. Cependant leur manipulation demande un apprentissage car ils sont peu tolérants à l'environnement buccal (langue, joue, présence de sang, salive...). Une quinzaine de ces scanners permettent aujourd'hui la prise d'empreinte intra-buccale au cabinet dentaire (14).
- Scanner extra-oraux ou scanner de table (au laboratoire ou cabinet) : Il scanne les empreintes silicones ou les modèles issus de ces empreintes. La numérisation est indirecte. Ces scanners sont extrêmement précis mais les étapes antérieures de prise d'empreinte (par matériau) et de traitement de celle-ci sont sources d'imprécisions.

Actuellement, les différents systèmes d'empreinte optique fonctionnent par projection d'une lumière qui va se déformer au contact du volume dentaire. Des capteurs vont exploiter ces déformations pour les transformer en données numériques (**fig. 15**) (28,29).



**fig. 15** – Fonctionnement des différents systèmes de scannage par projection de lumière (28).

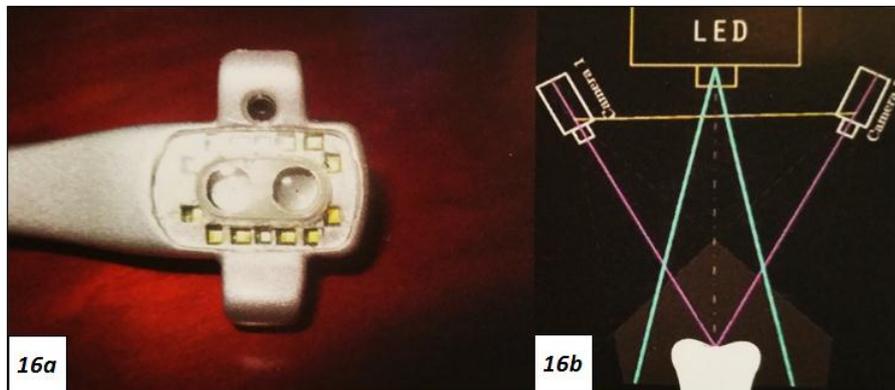
**a** – Fonctionnement du scanner Cerec AC Bluecam (triangulation avec projection de lumière structurée)

**b** – Fonctionnement du scanner iTero (confocale parallèle)

**c** – Fonctionnement du scanner Lava COS True definition (focalisation-défocalisation non colinéaire)

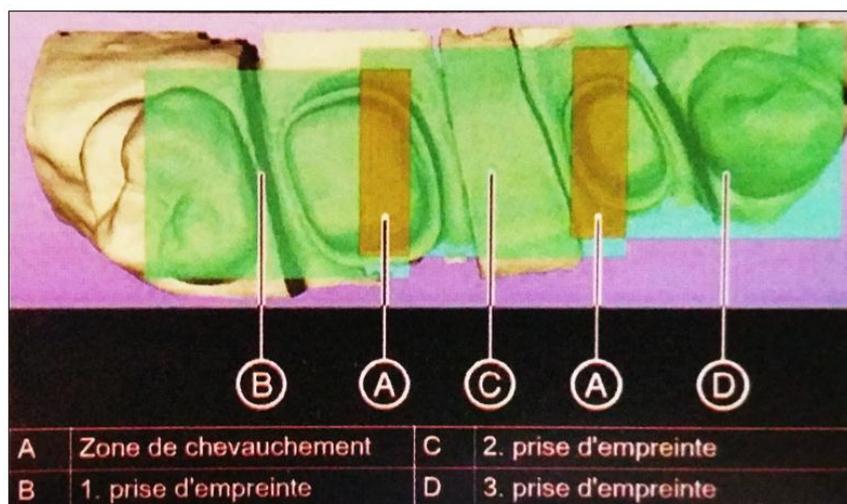
Le système stéréoscopique (ou stéréophotogrammétrique) utilise, lui, le principe de fonctionnement de la vision humaine. Deux caméras vidéo légèrement espacées pointent vers la même scène et les différences d'images obtenues sont traitées par de puissants logiciels afin de reconstruire la surface du volume point par point. Les composants électroniques de ce type de

système sont assez simples ce qui permet d'obtenir des caméras « miniatures ». Ainsi, le Condorscan® de François Duret serait capable de descendre sous la barre des 100 gr (fig. 16).



**fig. 16** – Système stéréoscopique : exemple de la caméra Condorscan de F. Duret (30):  
**a** – Tête du scanner intra-oral.  
**b** – Système stéréophotogrammétrique ou stéréoscopique

Un logiciel informatique couplé à la caméra va ensuite additionner toutes les données de l'arcade qui se recourent, afin d'obtenir une reconstitution tridimensionnelle selon le principe de corrélation (fig. 17) (20).



**fig. 17** – Principe de corrélation des vues par chevauchement : Les images sont recueillies successivement, zone par zone, et un logiciel informatique va les corréler les unes derrière les autres à condition qu'une part de l'image soit commune avec la suivante (30).

L'empreinte optique intra-buccale réalisée à l'aide d'une caméra est une étape fondamentale de la conception et fabrication assistée par ordinateur (31).

La prise d’empreinte repose généralement sur trois enregistrements distincts : l’arcade concernée, l’arcade antagoniste, et un enregistrement vestibulaire en position d’intercuspidie maximale permettant la mise en occlusion des deux arcades (32).

### 1.3.1. Empreinte optique intra buccale vs Empreinte conventionnelle

- Précision :

L’analyse de la littérature concernant la précision d’adaptation des restaurations usinées par CFAO montre une précision de joint dento-prothétique inférieure à 80 µm améliorant en moyenne la qualité de l’adaptation par rapport à celui obtenu avec un procédé traditionnel de fabrication (10,15,30,33,34).

En ce qui concerne l’étape de numérisation, la justesse et la fidélité de l’empreinte optique donnent son exactitude. Sa qualité est liée au nombre de points enregistrés. De nombreuses études montrent que l’acquisition par empreinte optique de petit secteur est au moins aussi précise en terme de justesse, de fiabilité et d’exactitude que les méthodes physico-chimiques traditionnelles (**fig. 18**) (34–39).

Empreinte / Numérisation	Matériau	AMI *	IF *
		moyenne (µm) ± SD	moyenne (µm) ± SD
Cerec scan	Empress CAD	30 (±17) a	88 (±20)
Lava C.O.S. scan	Lava zirconia	48 (±25) a	29 (±7) a
iTero scan	Copran Zr-i	41 (±16) a	50 (±12) a
<b>Technique en 1 temps : double mélange</b>	Lava zirconia	33 (±19) a	36 (±5) a
<b>Technique en 1 temps : double mélange</b>	Cera E alloy	38 (±25) a	44 (±22) a
<b>Technique en 2 temps : wash technique</b>	Lava zirconia	60 (±30) b	35 (±7) a
<b>Technique en 2 temps : wash technique</b>	Cera E alloy	68 (±29) b	56 (±36) a

\* AMI: Accessible Marginal Inaccuracy (imprécision d’adaptation marginale)

\* IF: Internal Fit (ajustement interne)

**fig. 18** – Comparaison de la précision d’adaptation marginale et de l’ajustement interne de couronnes tout céramique unitaires réalisées par CFAO à partir d’empreintes optiques de trois scanners intra-buccaux différents et d’empreintes conventionnelles avec deux techniques différentes (36).

Une autre étude montre que les modèles numériques les plus précis proviennent de la numérisation directe (empreinte optique intra buccale) suivie par la numérisation de l'empreinte classique et enfin du modèle en plâtre (40).

Le défi en termes de précision pour les scanner intra oraux est la numérisation d'arcade complète. En effet, l'accumulation des données informatiques due à l'augmentation de la surface de la zone de scannage diminue la précision globale de l'empreinte numérique. En effet, plus les zones enregistrées sont petites, plus les calculs algorithmiques de repositionnement des images acquises sont simples ce qui limite les imprécisions (41). De ce fait, plus la surface de numérisation s'étend, plus la précision moyenne se détériore.

- Visualisation directe des préparations dentaires et de l'occlusion :

Les préparations sont réalisées en respectant des impératifs spécifiques aux matériaux de restauration. Les limites de finitions doivent être nettes et précises afin d'obtenir une empreinte optique intra-buccale réussie. Grâce à la caméra optique nous allons pouvoir visualiser directement nos préparations sur un écran avec la possibilité de zoomer l'image (jusqu'à un grossissement x20) et de l'orienter dans les 3 dimensions. Ainsi nous pouvons corriger immédiatement les imperfections (contre dépouille, limite incertaine, non-respect des impératifs...) (33). Cette validation clinique immédiate augmente la qualité de nos préparations, de nos empreintes et donc de nos restaurations. Il est aussi possible de contrôler l'enregistrement occlusal (position d'intercuspidie maximale) sur l'écran avec la situation clinique.

- Diminution des risques d'erreurs :

Les erreurs fréquentes liées aux empreintes conventionnelles (très opérateur dépendant) telles que les limites manquantes, la présence de tirage, le manque de cohésion entre les matériaux lors d'empreintes double viscosité sont aussi évitées. De nombreuses étapes de laboratoire, sources potentielles d'erreurs, sont supprimées telles que (10,33):

- La désinfection et décontamination des empreintes.
- La coulée, le fractionnement, le détournage, la stabilité et la fracture des modèles positifs unitaires.
- L'application uniforme d'un vernis d'espacement.
- Les déformations de la maquette en cire lors des différentes manipulations.
- Les étapes de coulée et de refroidissement.
- Les aléas de température, stockage, transport...

L’empreinte numérique est inaltérable et son traitement par informatique est simplifié, ce qui limite tout risque d’erreur humaine (**fig. 19**) (24).



**fig.19** - Les étapes de la chaîne prothétique conventionnelle sources de nombreuses imprécisions (32) : transport, stockage (a,b) ; coulée du plâtre (c) ; détournage (d) ; stabilité des modèles (e,f,g,j,k) ; soclage (h) ; coulée (i).

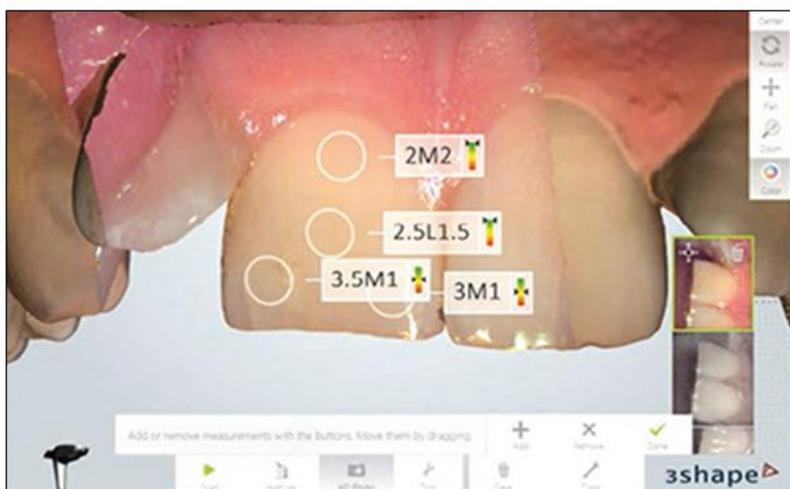
- Ergonomie, Confort, ... :

Lors de la prise d’empreinte, nous obtenons sur l’écran en simultané la prévisualisation du modèle de travail. Il est alors possible d’arrêter l’émission lumineuse, de supprimer une information erronée (saignement intempestif...) et de redémarrer l’empreinte pour compléter la zone en question. **L’empreinte optique a la capacité d’être acquise progressivement, corrigée et améliorée jusqu’à obtention du résultat optimal souhaité.** Cette possibilité est particulièrement intéressante dans les restaurations présentant de multiples préparations (11,25). Les nuances de teinte d’un enregistrement en couleur facilitent le repérage des limites de préparation (**fig. 20**).



**fig. 20** – Image 3D d’une arcade complète réalisée avec la dernière version du « Trios 3Shape » en couleur réelle (3).

Actuellement, certains scanners intra-oraux (Trios 3Shape) sont déjà en mesure de **saisir la teinte des dents au cours de l’empreinte optique (fig. 21)**. La définition des limites sur l’empreinte numérique peut être faite automatiquement par un logiciel qui utilise un algorithme de reconnaissance d’arête, mais nous pouvons apporter des modifications.



**fig. 21** – *Prise de teinte numérique automatisée et photo HD (Haute Définition) par le système « Trios 3Shape » (2014) au cours d’une empreinte optique intra-buccale (3).*

Le **temps nécessaire** à la réalisation varie en fonction du nombre de piliers à enregistrer, de l’expérience de l’utilisateur (gestuelle précise, « stratégie de scannage »...), et de la technologie d’acquisition de la caméra (scanner type « point & clic », scannage en flux continu « full motion ») (30). Initialement le gain de temps n’apparaissait réellement que par rapport à une empreinte conventionnelle à reprendre. Actuellement, les derniers modèles de caméras offrent une acquisition numérique beaucoup plus fluide et plus rapide. Ainsi les scanners les plus performants comme le « Trios 3Shape » ou « l’Omnica » de Sirona, sont désormais capables de scanner une arcade complète en quelques dizaines de secondes (12). Attention, il est important d’avoir à l’esprit que le temps de balayage de la zone à enregistrer dépend aussi des pièces informatiques constituant l’ordinateur, ou « hardware ». Il s’agit de la mémoire RAM (mémoire vive de l’ordinateur), de la carte graphique et de la cadence du processeur. Ils vont influencer la rapidité à lire, enregistrer et retranscrire les données sur l’écran. Si ces constituants informatiques ne sont pas assez puissants, le scannage sera saccadé (42). Le respect de stratégie de scannage garantissant une précision optimale de l’empreinte influencera également la durée de numérisation.

Selon le ressenti clinique des patients, l’empreinte optique apporterait un **meilleur confort** en évitant les matériaux à empreinte (43). Ce gain de confort permet notamment d’enregistrer les préparations chez des patients ayant un reflex nauséux (33). L’outil informatique et la

visualisation de leur arcade par les patients **aident à la compréhension du traitement et valorise par la même occasion l'image du cabinet.** En effet, la visualisation directe de leur bouche leur permet d'avoir le ressenti que le traitement est entièrement « sur mesure » (18).

**La communication praticien-prothésiste est étroite et plus facile.** La caméra « Trios de 3Shape » permet de prendre des **photos HD** (Haute Définition) de la situation intra-buccale sous différents angles qui seront transmises automatiquement avec le fichier (**fig. 14**). La délimitation des limites cervicales de préparation par le prothésiste sera ainsi améliorée. Au laboratoire, la décontamination des empreintes n'est plus nécessaire ce qui empêche tout risque d'infection.

Les données numériques issues de l'empreinte optique sont archivées en dossiers informatiques ce qui occasionne un **gain de place dans le cabinet.**

### **1.3.2. Limites et causes d'imprécisions en empreinte optique**

- Préparation dentaire :

Le choix du type de préparation est essentiel car il conditionne le bon déroulement de la numérisation et l'architecture finale de la pièce prothétique. Cette étape nécessite une analyse de la situation et une prise de décision (44). Les règles de préparation et leur méthodologie de mise en œuvre clinique doivent être respectées avec la plus grande rigueur (limites nettes et précises) pour permettre un scannage de précision et ainsi obtenir un maître modèle virtuel le plus fidèle possible à la réalité. La qualité de l'empreinte dépend directement du respect des principes de préparations (25).

- Manipulation de la caméra intra-buccale :

La réalisation de l'empreinte optique nécessite une courbe d'apprentissage. Le praticien doit se former à la gestuelle et aux exigences de cette technologie (32). Un bon logiciel corrigera cependant de nombreux artefacts et s'adaptera en permanence à la position de la caméra (42).

Chaque caméra requiert un protocole de scannage intra-buccal afin d'optimiser la précision d'enregistrement des volumes (**fig. 22**). Ces protocoles dépendent directement du type de système d'acquisition de la caméra. Lors du scannage, nous devons alors respecter des consignes propres à chaque type de caméra (suivre recommandations des fabricants), telles que :

- distance dent/tête de la caméra.
- angulation de la tête de la caméra par rapport à la surface dentaire.
- trajet de scannage (exemple : en zig-zag avec la caméra Lava COS de 3M)

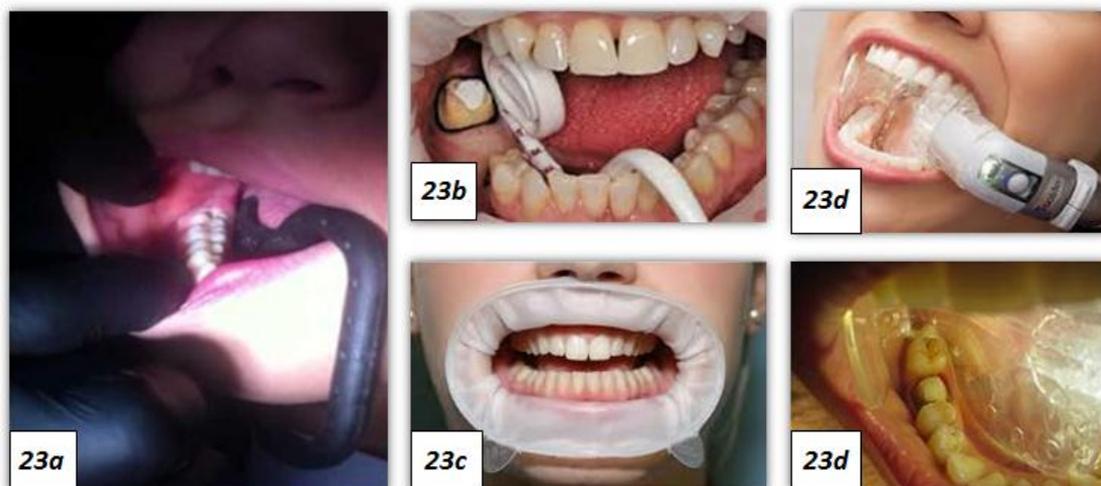
	Lava C.O.S	CEREC Bluecam	Cadent iTéro
Balayage optimisé (µm)	± 45,8	± 23,3	± 30,9
Balayage standard (µm)	± 90,2	± 52,5	± 35,0

**fig. 22** - Différences de précisions en µm obtenues avec balayage optimisé ou standard lors de la prise d'empreinte optique avec un scanner intra-oral (mesures in vitro d'après modèle de référence) (30).

L'optimisation et la maîtrise des stratégies de scannage passent par une phase plus ou moins longue d'apprentissage. Elles sont essentielles lors de la numérisation d'arcade complète (30).

- Isolement de la salive

L'empreinte doit se faire idéalement dans un milieu exempt de salive. L'utilisation d'écran parotidien, de rouleau salivaire, d'écarteur buccal facilite grandement sa réalisation (24). A la mandibule la réclinaison de la langue est importante. Il existe différents dispositifs d'aides opératoires comme le Cap°Dent, le système Isolite®, l'Optragate® (ivoclar), les canules Hygoformic® qui isolent le champ opératoire (**fig. 23**). La réflexion de rayons lumineux provenant du scialytique sur des gants de couleur claire risque de parasiter la numérisation, il est alors conseiller de porter des gants noirs lors de cette étape.



**fig. 23** – Différents dispositifs d'aides opératoires.  
**a** – Cap°Dent du Dr Berruet.      **c** – Optragate® (Ivoclar).  
**b** – Canule Hygoformic®.      **d** – Système Isolite®.

- Ouverture buccale :

L'encombrement de la tête de la caméra ne permet pas toujours chez des patients à faible ouverture buccale de numériser complètement une préparation trop postérieure. Toutes les caméras ne sont pas équivalentes en termes de volume (**fig. 24**).



**fig. 24** – Différentes caméras intra-buccales connectables, de gauche à droite, I/S/Can Oral (Goldquadrat), CS 3500 (Carestream), PlanScan (Planmeca), Bluescan-I 3D (A.tron 3d). Les caméras ne sont pas toutes équivalentes en terme de volume ce qui modifie leurs maniabilités et accessibilités en bouche (9).

Notons qu'avec l'évolution des technologies, les caméras tendent à se miniaturiser. A l'heure actuelle des caméras telles que le BlueScan 3D (A-tron) ou le CondorScan (prototype) ne dépassent pas 100 gr.

- Poudrage ou Coating :

Certains dispositifs nécessitent l'application d'une fine couche superficielle de 25 $\mu$ m de poudre mate à la surface des volumes à enregistrer. Le logiciel prend en compte cette épaisseur lors de l'enregistrement des surfaces. Le dioxyde de titane a été le premier matériau utilisé pour ces poudres. Cette étape supplémentaire nécessite un apprentissage : quantité de poudre, homogénéité du poudrage. En effet, un manque de poudrage peut empêcher la numérisation de surface tandis qu'un excès va fausser l'empreinte (41).

Les systèmes qui fonctionnent sans poudrage nécessitent quant à eux un séchage minutieux et peuvent parfois présenter des difficultés lors d'enregistrement de surfaces très brillantes (couronnes coulées, couronnes céramo-métalliques) (24).

Cette nécessité ou non de poudrage est élément important dans le choix d'un système d'empreinte optique.

- Scannage d'arcade complète :

Plusieurs études ont été réalisées afin de comparer la précision et la justesse de différentes caméras lors du scannage d'arcade complète (39,45,46). Les résultats obtenus en termes de précision ne sont pas tous équivalents et ces écarts de valeurs peuvent s'expliquer par le fait que le matériel et les méthodes utilisés ne sont pas équivalents. Ces différences de méthodologies entre les études rendent difficiles les comparaisons. Néanmoins, il semble se dégager que l'augmentation de la surface à scanner diminue la précision de l'empreinte. Voici les données recueillies d'une étude comparant in vitro quatre systèmes (**fig. 25**) (46):

Scanners	CerecBluecam	iTero®	TRIOS®	3M True Definition®
Précision (en $\mu\text{m}$ )	-287,5 à 132,6	-222,2 à 158,4	-298,2 à 83,8	-93,2 à -23,9

**fig. 25** – Précision en  $\mu\text{m}$  de différents types de scanners sur une arcade complète (moyenne des mesures sur trois piliers espacés sur un maître modèle par rapport à un scanner de référence industriel de métrologie) (42).

**Les résultats de cette étude nous invitent à rester encore vigilants quant au scannage intra-oral d'arcade complète. Il est pourtant réalisable avec grande précision, à condition de respecter des stratégies de scannage adéquates (30). Notons qu'avec la récente arrivée sur le marché du « iTero Element » en version « orthodontic » et « restorative », Align Technology® garantit la précision des empreintes jusqu'à 14 éléments sur piliers dentaires (12).**

- Exploitation des fichiers :

Il existe plusieurs types de formats d'empreinte numérique issue des caméras (**fig. 26**) :

**Les systèmes ouverts** exportent des fichiers 3D au format STL (Standard Tessellation Language). Il s'agit d'un format standard, universel, largement utilisé en stéréolithographie, prototypage rapide, impression 3D, usinage... Pour être totalement ouvert, un système doit pouvoir exporter et importer, à chaque étape, des fichiers compatibles avec d'autres systèmes, c'est-à-dire au format STL. Ce système apporte beaucoup plus de liberté à l'utilisateur qui peut alors choisir son « workflow » ou flux de travail numérique (chaîne de travail numérique allant du design de la pièce prothétique jusqu'à sa construction finale). 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 intra-buccale utilisée (14). Il faut cependant être vigilant quant à la compatibilité des différents logiciels

de CAO et machines de FAO, ainsi qu'à la conversion des fichiers qui peuvent faire apparaître des distorsions sur les modèles digitaux (41).

**Les systèmes fermés** proposent des formats cryptés qui ne peuvent pas être exploités par des configurations concurrentes. La chaîne numérique est parfaitement contrôlée à travers le matériel d'une même marque. Cependant notre champ d'application se retrouve réduit à celui de la compagnie car il est impossible de « sortir » de ce système. Ce système est avant tout basé sur une stratégie marketing mais il permet aussi de garantir une qualité durant toute la chaîne numérique (14).

**Les systèmes à ouverture contrôlée** délivrent des fichiers cryptés pouvant être exploités par certains systèmes « amis ». Il s'agit en fait d'extension (licence payante) proposée par un système initialement fermé vers d'autres marques (type Cerec<sup>®</sup> de Sirona). Cela leur permet d'augmenter les possibilités en CFAO tout en gardant un contrôle (de qualité et financier) sur chaque étape de la CFAO.

Système propriétaire fermé	Fichier Propriétaire à ouverture contrôlée	STL ouvert
<i>Ne peut être ouvert que sur le logiciel de même marque que le système d'empreinte optique</i>	<i>Peut être ouvert sur un logiciel « ami » disposant d'une licence particulière (payante)</i>	<i>Peut être ouvert sur n'importe quel logiciel</i>
<i>Cerec Sirona</i>	<i>Lava C.O.S / Lava True Definition / 3Shape</i>	<i>Carestream / Planscan / Cyrtina</i>

**fig. 26** – Les différents types de systèmes d'exploitation des fichiers 3D issues de l'étape de numérisation (3).

Aujourd'hui, la tendance est à l'ouverture des systèmes grâce au format STL, ce qui permet d'étendre les possibilités de traitement en CFAO. En effet le fichier STL peut être exporté vers des structures spécialisées qui possèdent les logiciels et machines de fabrication adaptés à une réalisation prothétiques particulières (Sirona Lab<sup>™</sup>, Lava Lab<sup>™</sup>, Sensable<sup>™</sup>, Zirkonzhan<sup>™</sup>) (32). Ces systèmes donnent la liberté au praticien de travailler avec un plus grand nombre de laboratoires.

- Investissement financier et choix du matériel :

Il existe différentes caméras sur le marché ayant chacune une orientation particulière. Il est nécessaire de prendre en compte certains éléments afin de s'orienter vers un type de caméra (42) :

- systèmes de CFAO : CFAO directe, semi-directe.
- type d'activité : omnipratique, implantologie, orthodontie...
- Ouverture du système : systèmes ouverts, fermés, à ouverture contrôlée.

- Paramètres techniques : poudrage, scannage en « full motion », couleur, convivialité du « software », maniabilité ...
- Recul clinique du système.
- Budget.

L'investissement financier est conséquent, allant d'environ 15 000 – 20 000 euros pour une caméra connectable et son système « software » minimal (connexion avec le laboratoire et tracé de ligne de finition) à 55 000 euros pour les caméras les plus performantes et jusqu'à une somme globale avoisinant 100 000 euros pour un système complet comprenant caméra de haute performance, logiciel CAO et usineuse. Il ne faut pas oublier d'intégrer le coût du contrat de maintenance et les achats de consommables. Notons qu'il existe des offres de leasing pour une chaîne complète de CFAO au cabinet. Le laboratoire Protilab propose même une offre de prêt du scanner intra-oral « Carestream 3500 » à condition que le praticien lui envoie une part suffisante de travaux prothétiques.

Le prix des caméras devrait baisser prochainement, notamment avec l'arrivée du CondorScan (prévue fin 2015) à moins de 20 000 euros, numérisant en couleur réelle, en temps réel, sans poudrage et délivrant des fichiers STL totalement ouverts. Cette baisse des prix tant attendue démocratisera l'empreinte optique intra-buccale dans nos cabinets.

- Situation des limites et état du parodonte :

A la différence des matériaux utilisés lors d'une empreinte traditionnelle, les caméras n'enregistrent que les structures visibles. En cas de limites cervicales juxta et infra gingivales, la numérisation de la préparation sera incomplète si aucune action n'est exercée sur la gencive marginale. Le praticien doit fournir au système la possibilité d'accéder aux points à scanner, notamment par une déflexion gingivale si nécessaire (11). L'état inflammatoire du parodonte influence aussi la numérisation car celle-ci est très sensible aux fluides. La présence de sang, de salive ou de fluides sulculaires est enregistrée par la caméra et peut compromettre le résultat prothétique (24).

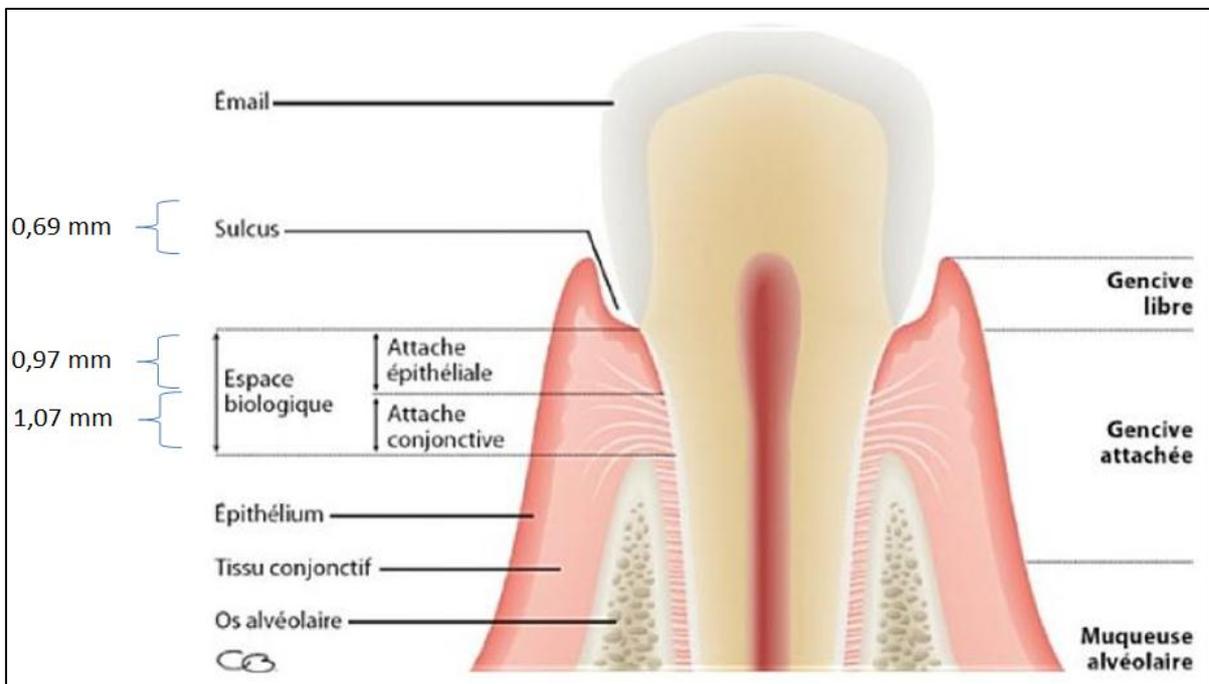
**L'enregistrement des limites de préparation est une étape clé lors de la conception et fabrication de prothèse assisté par ordinateur. Sa qualité dépend directement de la mise en évidence des limites à l'aide des moyens conventionnels (25). En situations de limites infra ou juxta-gingivales, une mise en condition gingivale similaire à celle pratiquée en prothèse fixée conventionnelle est nécessaire à la numérisation des limites de préparation.**

## 2. Techniques de mise en condition gingivale en prothèse fixée

### 2.1. Définition et situation anatomique

**La limite cervicale** forme un lieu d'intégration biologique, physiologique et esthétique qui signe en partie le succès ou l'échec d'une restauration prothétique. Le joint dento-prothétique dépend directement de cette limite et sa qualité conditionne grandement la santé du parodonte (47). Les défauts d'adaptation marginale sont le plus souvent liés à une mauvaise visibilité des limites de préparations intra-sulculaires lors de l'empreinte (32,48). Il est important de ménager un accès à ces limites exploitables par les matériaux à empreinte mais aussi par les caméras numériques encore plus exigeantes. En effet, une empreinte ne doit pas se contenter d'enregistrer uniquement les zones préparées et la limite cervicale mais elle doit aussi reporter les 3 ou 4 dixièmes de millimètre situés immédiatement au-delà de la partie préparée : **c'est le profil d'émergence radiculaire** (49,50). Pour atteindre cet objectif, le praticien doit maîtriser certains gestes techniques car ils ne sont pas sans conséquence pour le parodonte (51).

**Le parodonte** est constitué par l'ensemble des tissus qui entourent et soutiennent la dent. Il se compose de la gencive, du ligament alvéolo-dentaire et du cément. Le sulcus ou sillon gingivo-dentaire forme une collerette profonde de 0,5 à 2 mm. La gencive marginale est constituée d'une bande de gencive non attachée (**fig. 27**) (52).



**fig. 27** – L'espace biologique parodontal : valeurs moyennes physiologiques de l'attache conjonctive, attache épithéliale et sulcus (53).

**L'espace biologique** est l'espace compris entre le fond du sulcus et le sommet de la crête osseuse : il s'agit de l'attache épithélio-conjonctive qui mesure en moyenne 2,04 mm (**fig. 27**) (53–56). Il faut noter qu'il existe une grande variabilité de mesures de l'espace biologique en fonction des individus, des dents, des dents d'un même individu et en fonction des faces d'une même dent. A l'heure actuelle, un consensus s'est établi pour donner une dimension de 3,5 mm au complexe dento-gingival (espace biologique + sulcus) (54).

L'agression de l'espace biologique entraîne une réaction inflammatoire qui peut aboutir à une résorption osseuse associée à des conséquences parodontales (formation de poche parodontale, de récession parodontale, d'hypertrophie gingivale).

### **2.1.1. Contexte parodontal et choix d'une technique**

Une analyse initiale du parodonte doit définir plusieurs critères qui vont nous guider dans nos choix thérapeutiques (57). Ces différents critères parodontaux doivent être examinés avant toute manœuvre prothétique (51).

- Biotype parodontal :

Il existe plusieurs types de parodonte qui peuvent être classés en biotypes plats et épais ou biotypes fins et festonnés (58). Le biotype parodontal va influencer l'efficacité des techniques de déflexion gingivale ainsi que la « résistance » de l'attache épithélio-conjonctive aux forces appliquées par nos gestes.

Ainsi, les techniques sous forme de pâte sont plutôt indiquées en présence d'un biotype fin ou intermédiaire, car elles génèrent une moindre pression sur les tissus marginaux (57,59). Face à un biotype épais ou renforcé par des greffes, toutes les techniques d'accès au sulcus par déflexion ou par éviction tissulaire peuvent être utilisées (60).

- Etat inflammatoire :

Idéalement, la gencive marginale devrait être exempte d'inflammation avant la prise d'empreinte. En effet les manœuvres de déflexion exercées sur une gencive inflammatoire vont provoquer des suintements et saignements qui seront difficilement maîtrisables par le praticien. De plus la répétition de manœuvres laborieuses sur cette gencive afin obtenir une hémostase peuvent à leur tour entraîner des récessions gingivales (61,62).

En cas d'inflammation importante il est préférable de reporter la prise d'empreinte et de réaliser une prothèse provisoire ajustée finement (précision de l'adaptation, polissage) qui va

favoriser la cicatrisation parodontale et permettre ainsi d'obtenir une gencive marginale saine et donc une situation favorable à la prise d'empreinte (61,63).

Si celle-ci reste mineure et localisée, il est possible de réaliser l'empreinte grâce à des techniques d'accès au sulcus alliant déflexion et action hémostatique telles que les pâtes de déflexion ou les techniques hybrides (62).

- Respect de l'espace biologique :

Il existe différentes situations pour lesquelles il n'est pas possible de conserver des limites de préparation supra-gingivales (50,56,57,61,64):

- Importance esthétique de la prothèse (dischromie...)
- Rétention prothétique insuffisante par manque de hauteur (minimum 4mm)
- Renouvellement d'anciennes prothèses aux limites sous gingivales
- Délabrement par atteinte carieuse ou par fracture des tissus dentaires

La position intra-sulculaire des limites impose d'évaluer un paramètre important : **l'espace chirurgicale pré-prothétique**. Il s'agit de l'espace compris entre la limite prothétique et la crête alvéolaire (54). Il est nécessaire d'évaluer cet espace afin de respecter l'espace biologique durant nos étapes de réhabilitation prothétique. Il prévoit de laisser 2 mm pour la hauteur moyenne de l'espace biologique et 1mm supplémentaire pour la distance entre le fond du sulcus et la limite prothétique (54). D'un point de vue clinique, il est donc préconisé de conserver un espace chirurgicale pré prothétique de 3 mm (57). Son évaluation se fait par cliché radiologique (limitée aux seules zones proximales) et/ou par sondage sous anesthésie locale.

Le non-respect de l'espace biologique durant nos manœuvres thérapeutiques va engendrer un phénomène inflammatoire avec perte d'attache pouvant principalement aboutir à deux situations (**fig.28**) (54,56):

- Création de poche parodontale.
- Apparition de récession gingivale (surtout pour les biotypes fins), occasionnant un préjudice esthétique.



**fig. 28** – Inflammation gingivale au collet de dents restaurées due à un non-respect de de l'espace biologique (53).

## 2.2. Les différentes techniques

Différentes techniques existent pour rendre temporairement accessibles des bords de préparation juxta- ou sous-gingivaux, de manière à permettre d'en prendre une empreinte de précision. Ces techniques agissant sur la gencive sont principalement de deux types : la déflexion tissulaire (modification des formes de contour des tissus marginaux) et l'éviction tissulaire (pelage de la paroi interne du sulcus) (49). Elles ont pour objectifs :

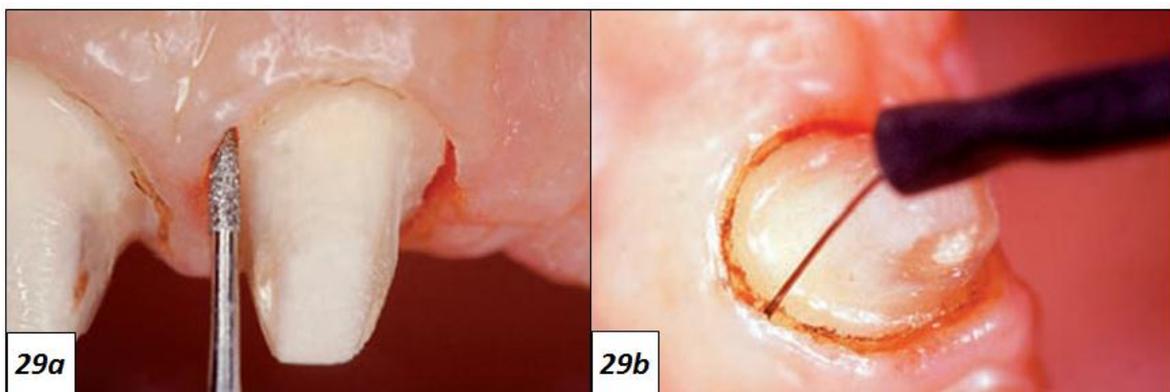
- d'enregistrer dans l'empreinte les bords de la préparation et la partie apicale non préparée
- de créer un espace suffisamment large pour le passage de rayons lumineux ou pour le matériau à empreinte.

La surface dentaire doit être mise au sec durant la procédure de l'empreinte. En effet, les matériaux d'empreinte élastomères ainsi que les caméras optique sont extrêmement sensibles aux fluides ou au sang.

Les techniques actuellement connues pour l'écartement temporaire de la gencive peuvent être divisées en techniques mécaniques, chimiques et chirurgicales; des combinaisons de ces trois méthodes sont également possibles (61).

### 2.2.1. Technique chirurgicale

Le curetage rotatif, l'électro-chirurgie ainsi que le laser permettent un accès aux limites par éviction gingivale (**fig. 29**).



**Fig. 29** – Techniques chirurgicales d'éviction gingivale (48).

**a** – Éviction gingivale par curetage rotatif.

**b** – Éviction gingivale par électrochirurgie à l'aide d'un bistouri électrique.

Ces techniques peuvent être couplées à d'autres afin d'obtenir différents effets sur le parodonte. Il est par exemple possible de réaliser une éviction gingivale par électrochirurgie puis d'injecter une pâte de déflexion type Expasyl® afin d'obtenir un écartement de la gencive et un assèchement optimal du sulcus (49).

Ces instruments ont l'avantage de cautériser les tissus instantanément : bistouri électrique par électro coagulation, fraise céramique en pointe (sans spray) par thermo coagulation rendant ainsi possible l'empreinte immédiatement après l'éviction. Cependant, la cicatrisation gingivale n'étant pas prédictible dans son intégralité, il est préférable de temporiser avec la mise en place d'une prothèse de temporisation (65). En effet une lésion de l'attache épithélio-conjonctive va provoquer une inflammation pouvant aboutir à un remodelage parodontal et donc compromettre le résultat esthétique final. Ainsi, ces techniques semblent plutôt réservées à un aménagement parodontal pré-prothétique qu'à une mise en condition gingivale temporaire.

### 2.2.2. Technique mécanique

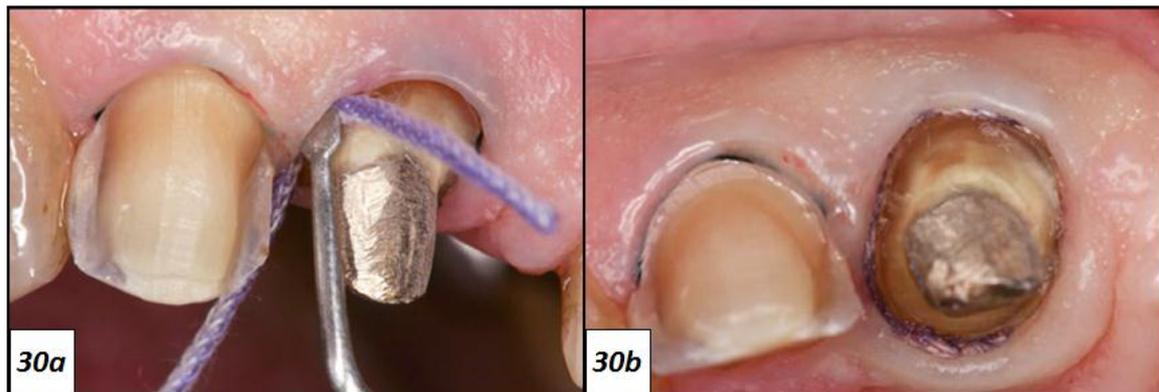
Un dispositif est inséré dans le sulcus et laissé en place quelques minutes afin d'écartier la gencive marginale. Cette action va provoquer un blanchiment de la gencive. La manipulation des dispositifs doit être adaptée afin d'obtenir le maximum de déflexion sans risquer de léser le parodonte (66).

#### 2.2.2.1. Cordonnets rétracteurs

La très grande majorité des praticiens utilise les fils de rétractions pour la réalisation de leurs empreintes. Il s'agit d'un fil, de diamètre adapté au parodonte, inséré dans le sulcus en périphérie de la préparation. Ce cordonnet agit par refoulement gingival mécanique. Il assure une rétraction horizontale et verticale du tissu gingival (50).

- Manipulation :

Dans la majorité des cas le fil est imprégné de substances chimiques afin d'obtenir une action mécanique et chimique. Le cordonnet se manipule à l'aide d'un instrument à extrémité crantée et à bout arrondi ou bien une fine spatule de bouche (**fig. 30**). Il doit être inséré avec précaution pour éviter tout risque de lésion de l'épithélium jonctionnel. Nous devons être prudents car la force exercée sur l'attache est difficilement quantifiable (52). Le diamètre du cordonnet est à choisir en fonction de la profondeur du sillon. Deux fils peuvent être insérés dans le sulcus afin d'optimiser la déflexion (le plus fin en premier).



**fig. 30** – *Technique du double cordonnets (48).*

**a** – *Mise en place du second cordonnet à l'aide d'un packer. Le premier cordonnet, plus fin, est déjà dans le sulcus.*

**b** – *Les deux cordonnets ont été mis en place dans le sulcus.*

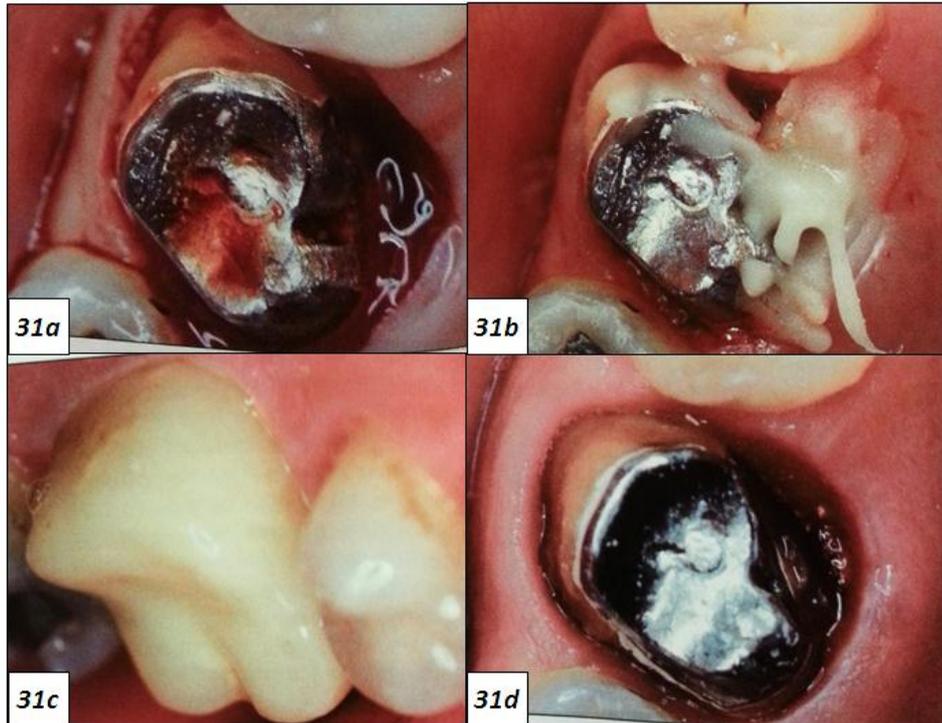
- Indications :

L'utilisation de fils sans additifs donne lieu à une rétraction purement mécanique mais cette méthode peut toutefois être considérée comme insuffisante sur le plan de l'écartement gingival et de l'hémostase (61).

La mise en place d'un fil dans le sillon gingival lors de la réalisation d'une préparation protège l'épithélium sulculaire de l'agression par la fraise. Cette technique permet de réaliser une finition légèrement infra gingivale en conservant un contrôle visuel. Les limites obtenues sont nettes et précises (51). Le fil peut être laissé en place pour faciliter un rebasage précis de la couronne provisoire.

#### 2.2.2.2. Prothèse provisoire et autres

Une **prothèse provisoire** aux limites nettes et précises guide la cicatrisation intrasulculaire avec un minimum de réaction tissulaire. Cette prothèse ne doit pas présenter de défauts d'adaptation, de polissage, d'émergence ni de difficulté d'accès à l'hygiène (57,64). Elle a une action mécanique par refoulement latérale de la gencive. Elle est idéale dans les situations de limites infra-gingivale lorsque la gencive a besoin de cicatriser avant de réaliser l'empreinte (**fig. 31**).



**fig. 31** – Réalisation d'une prothèse provisoire, guide de cicatrisation parodontale (63).  
**a** – Préparation dentaire aux limites infra-gingivales associée à une éviction gingivale par curetage rotatif. Le site est hémorragique.  
**b** – Résine fluide de rebasage déposée au fond du sillon.  
**c** – Couronne provisoire rebasée finement, mise en place le temps de la cicatrisation parodontale.  
**d** – Situation après cicatrisation: sillon gingival cicatrisé, évasé et exempt d'inflammation.

Il est possible de réaliser une couronne provisoire légèrement surdimensionnée dans la région cervicale, pour provoquer une déformation horizontale de la gencive. Cette couronne est réalisée 8 jours avant l'empreinte. Cette technique est intéressante pour les profils anatomiques cervicaux complexes et elle permet une ouverture suffisante sans saignement lors de l'empreinte. L'inconvénient est que nous ne contrôlons pas la déformation de la gencive, le prothésiste ne connaît donc pas le profil normal de la gencive. Si la technique n'est pas maîtrisée il existe un risque d'inflammation pouvant aboutir à une récession dans le cas d'un parodonte fin.

Cette couronne provisoire peut être dupliquée afin de réaliser une coque qui guidera le matériau à empreinte dans le sulcus en écartant mécaniquement la gencive, c'est la technique de **l'empreinte à coque**.

### 2.2.3. Technique chimique

De nombreuses solutions sont utilisables pour agir chimiquement sur le parodonte et sont très souvent associées à l'imprégnation d'un cordonnet pour une technique hybride.

Ces solutions peuvent avoir plusieurs effets sur le parodonte, comme : une action **asséchante** ; une action **astringente** (resserre les tissus) ; une action **vasoconstrictrice** (par contraction des fibres musculaires des vaisseaux, diminution du diamètre des capillaires donc du volume de la gencive) ; une action **hémostatique** (conséquence de la vasoconstriction) (52).

Les effets astringent et hémostatique sont les principaux effets recherchés par l'utilisation de ces solutions chimiques. Ils sont obtenus par vasoconstriction des tissus. Ainsi on obtient un assèchement du parodonte.

### 2.2.3.1. Les solutions

- L'adrénaline :

Les solutions à base d'adrénaline (4 à 8%) sont souvent utilisées en tant qu'additif pour imprégner des fils de rétraction; à ce titre, l'adrénaline est censée assurer l'hémostase via une vasoconstriction et un rétrécissement temporaire de la gencive marginale durant la prise de l'empreinte. Nous devons être prudents quant à l'usage d'adrénaline chez les patients à risque cardio vasculaire (61). (Hemalin<sup>®</sup>, Voco ; Racemistat<sup>®</sup>, Pascal Comp)

- Le chlorure d'aluminium :

Les solutions de chlorure d'aluminium aux propriétés astringentes font partie des additifs les plus utilisés pour obtenir une rétraction gingivale. Il existe des solutions à différentes concentrations (Racestypine<sup>®</sup>, Septodont ; Hemodent<sup>®</sup>, Dental Product).

- Les sulfates ferreux :

Le sulfate de fer est une substance efficace pour l'hémostase. Le sulfate de fer est compatible avec le chlorure d'aluminium, mais pas avec l'adrénaline. (Astringedent<sup>®</sup>, Ultradent Bisico)

- L'alun :

Il possède des effets hémostatique et astringent. Son efficacité est proche de celle de l'adrénaline. Il serait recommandé comme alternative à l'adrénaline dans des fils de rétraction car il ne déploie aucun effet systémique potentiellement délétère.

#### 2.2.4. Technique mécanico-chimique

Ce sont les techniques les plus utilisées lors de la mise en condition gingivale en prothèse fixée car elles associent une action mécanique de déflexion gingivale aux effets obtenus par les solutions chimiques. Il s'agit principalement des pâtes de déflexion gingivale ainsi que des cordonnets imprégnés.

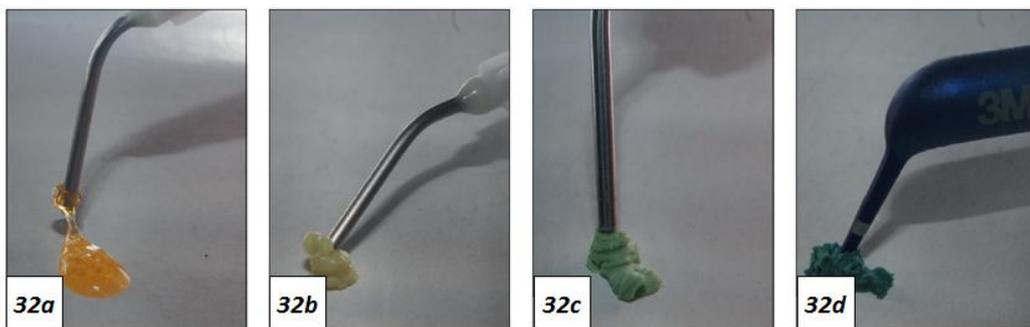
##### 2.2.4.1. Pâte de déflexion

Il s'agit de solutions ayant une action mécanique et chimique. Une multitude de produits a été commercialisée. Ces techniques se caractérisent par la mise en place d'un « fluide plus ou moins visqueux » dans le sulcus grâce à une seringue ou un applicateur (66).

- Mécanisme d'action :

Ces produits offrent une hémostase et/ou un assèchement chimique. L'action mécanique est principalement fournie par la consistance du produit. En fonction de leur viscosité, il existe trois types de techniques mécanico-chimiques sous forme de « pâte de déflexion » (**fig. 32**) :

- liquide ou gélatineuse (faible viscosité) comme le Racegel<sup>®</sup> (Septodont) ou l'Hémostal<sup>®</sup> gel (Prevest Den- Pro) ;
- pâteuse (viscosité intermédiaire) comme le Traxodent<sup>®</sup> (Itena) ou le GingiTrac<sup>®</sup> (Centrix) ;
- pseudo-plastique (forte viscosité) comme l'Expasyl<sup>®</sup> (Acteon) ou l'ARP Cap<sup>®</sup> (3M ESPE).



**fig. 32** – Les pâtes de déflexion gingivale sous forme de carpules existent sous différentes viscosités (66).

**a** – Le Racegel<sup>®</sup> de consistance gélatineuse.

**b** – Le Traxodent<sup>®</sup> de consistance pâteuse.

**c** – L'Expasyl<sup>®</sup> de consistance pseudo-élastique.

**d** – L'ARP Cap<sup>®</sup> de consistance pseudo-élastique.

- Manipulation :

Les pâtes sont commercialisées dans des carpules, ce qui permet de les injecter aisément dans le sillon gingival où elles agissent pendant quelques minutes avant d'être éliminées au spray d'eau, puis le sillon est séché par spray d'air (**fig. 33**). Cette pâte peut être utilisée seule ou en combinaison avec des fils de rétraction (61).



**fig. 33** – Pâte de déflexion (Expasyl®) injecté dans le sulcus à l'aide d'un pistolet (66).

- Indication :

Ces techniques sont plutôt indiquées en présence d'un parodonte fin ou intermédiaire et de ligne de finition légèrement infra gingivale ou juxta gingivale (51). Une étude montre que l'Expasyl® a une plus grande faculté à déplacer horizontalement la gencive marginale qu'un cordonnet imprégné de solution (67).

#### 2.2.4.2. Technique hybride

Les techniques hybrides associent l'action mécanique d'un système à une solution chimique. Le plus souvent, des cordonnets imprégnés ou prétraités par des substances chimiques, sont utilisés pour produire une rétraction chimio-mécanique. Les pâtes de déflexion peuvent être associées à une force mécanique supplémentaire telle que des caps occlusaux, une couronne provisoire ou un cordonnet.

### 2.2.4.3. Avantages et inconvénients (fig. 34)

	Avantages	Inconvénients
Cordonnets	Technique atraumatique si bien menée Protection de l'attache épithéliale Peu coûteux	Nécessité d'une profondeur sulculaire minimale Technique longue pour des préparations multiples Anesthésie parfois nécessaire Technique difficile pour des formes cervicales tourmentées
Matériau du type Expasyl®	Mise en place rapide Atraumatique et non invasif Hémostatique et astringent	Peu efficace sur des parodontes épais Contre-indiqué en présence de sillons profonds Temps de mise en action un peu long Matériel et matériau spécifique Coût élevé

**fig. 34** – Principaux avantages et inconvénients des techniques de mise en condition gingivale par déflexion (48).

### 2.3. Conséquences parodontales

Il est nécessaire de connaître les conséquences biologiques des différents actes afin de respecter le parodonte dans chaque situation (52).

- Per opératoire :

Le principal risque provient de la pression exercée sur l'attache épithélio-conjonctive lors de la réalisation des techniques de déflexion gingivale. En effet, une force de 1 N/mm<sup>2</sup> peut entraîner une blessure de l'attache épithéliale et même une destruction de celle-ci lorsqu'elle dépasse 2,5 N/mm<sup>2</sup> (66).

Les techniques sous forme de pâte de déflexion exercent une pression proche de 0,1 N/mm<sup>2</sup> (52,59). Tandis que la force exercée lors de la mise en place d'un cordonnet dans le sulcus peut dépasser la limite de 2,5 N/mm<sup>2</sup>, elle est très opérateur dépendant. Nous ne disposons pas de mesure concernant les techniques hybrides.

Les techniques chirurgicales, en plus de provoquer un saignement de la gencive, peuvent léser l'attache épithélio-conjonctive de façon directe ou indirecte par destruction du ciment.

Il existe aussi un risque de nécrose irréversible de l'attache lorsque les dispositifs de déflexion gingivale sont laissés trop longtemps dans le sulcus.

- Post opératoire :

Si l'attache est lésée au cours des différentes techniques, une inflammation va venir perturber la santé parodontale et peut persister pendant une à deux semaines. Cette réaction inflammatoire parodontale peut engendrer des zones de récession gingivale de 0,1 à 0,2 mm.

Les récessions sont irréversibles et définitives et l'exposition d'une limite sous-gingivale peut ainsi compromettre le résultat esthétique final d'une restauration prothétique.

**Nous disposons donc de différentes techniques de mise en condition gingivale, ayant chacune un mécanisme d'action propre et une incidence sur le parodonte. Des éléments sont à analyser pour chaque situation clinique afin de sélectionner la méthode la plus efficace et la moins iatrogène. L'objectif final est de permettre la visibilité des limites de finition par les systèmes de prise d'empreinte numérique afin de réaliser un élément prothétique par CFAO, formant un joint dento-prothétique fin, garantissant la santé parodontale (24).**

### 3. Choix d'une technique d'accès et de numérisation adaptées à la situation.

#### 3.1. Situation des limites de préparation

Le système d'empreinte optique n'enregistrant que ce qu'il « voit », un accès aux limites cervicales exploitable par les caméras numériques doit être aménager (68). Le choix d'une technique d'accès se base sur la situation parodontale.

##### 3.1.1. Limites supra-gingivales

Dès que la situation clinique le permet, la préservation de marge cervicale supra gingivale est préférable afin de protéger le parodonte et faciliter les procédures d'enregistrement des limites et du profil d'émergence.

Nous avons vu précédemment que la numérisation directe par **empreinte optique intra buccale** permettait d'optimiser la CFAO en s'affranchissant d'étapes laboratoire sources d'imprécisions lors de la réalisation de la pièce prothétiques. Elle représente donc la technique de numérisation de choix dans cette situation et à chaque fois qu'elle est réalisable.

**Aucune déflexion gingivale n'est nécessaire**, les faisceaux lumineux atteignent les limites de préparation ainsi que la partie cervicale non préparée qui détermine le profil d'émergence (**fig. 35**).



**fig. 35** – Préparation dentaire avec des limites cervicales nettes, supra-gingivales. Les faisceaux lumineux d'une caméra intra orale atteignent directement les bords de préparation (69).

Seule la présence de suintement ou de saignement peut perturber la numérisation. Dans ce cas, l'utilisation de technique ayant une action chimique d'hémostase et/ou d'assèchement est recommandée, telle qu'une solution chimique (Hemodent<sup>®</sup>, Racemistat<sup>®</sup>...) ou une pâte de déflexion contenant des agents chimiques.

**En situation de limites cervicales supra-gingivales : nous devons donc réaliser une hémostase ainsi qu'un assèchement de la préparation à l'aide de solution chimique ou de pâte de déflexion à viscosité faible. Nous privilégierons une empreinte optique intra-buccale à l'aide d'un scanner intra-oral afin de numériser directement la préparation dentaire pour accéder finalement à une CFAO directe ou semi-directe (fig. 46).**

### 3.1.2. Limites juxta et légèrement infra-gingivales ( $\leq 0,2$ mm)

Si l'indication de limites infra gingivale est retenue (aspect esthétique...) et que nous avons la liberté dans le tracé de préparation (dent intacte au collet), le choix d'une limite légèrement enfouie est à privilégier. Celle-ci sera plus respectueuse du parodonte et les étapes de réhabilitation prothétique seront facilitées (54). L'étape de préparation dentaire se doit d'être respectueuse du parodonte. Il est ainsi possible de placer un cordonnet rétracteur dans le sulcus afin de protéger l'épithélium d'une possible agression par un instrument rotatif (**fig. 36**) (57,66). Ce respect de la gencive facilitera la prise d'empreinte immédiatement après la préparation.

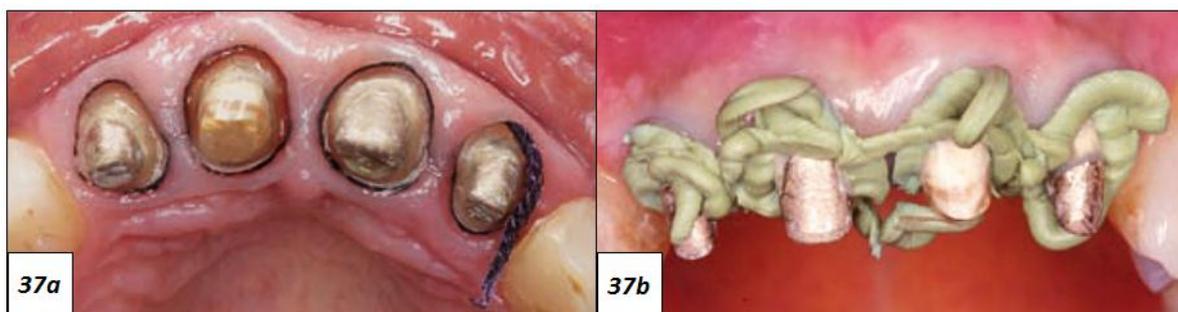


**fig. 36** – Mise en place d'un cordonnet dans le sulcus lors de la préparation dentaire afin de préserver le parodonte et d'améliorer la finition des limites infra-gingivales (66).

Ce type de limite permet l'obtention d'une **empreinte optique intra buccale** de qualité par l'utilisation de scanner intra oraux à condition de maîtriser les techniques de mise en condition gingivale.

Une **déflexion gingivale** est nécessaire pour cette situation afin d'enregistrer les limites cervicales et de surcroît la partie non préparée (48,57,61,62). Une action mécanique va réaliser l'éversion de la gencive permettant le passage du faisceau lumineux. La numérisation étant très sensible à la présence de fluides, il semble préférable d'adjoindre un effet hémostatique et/ou asséchant afin de maintenir au sec la préparation lors de l'empreinte. Il est donc préférable d'avoir recours à une technique mécanico-chimique telle que :

- Une pâte de déflexion à forte viscosité (Expasyl<sup>®</sup>, Expazen<sup>®</sup>, ARP Cap<sup>®</sup>)
- Un cordonnet rétracteur imprégné de solution chimique (technique à un ou deux fils)
- La mise en place d'un fil triple 0 puis injection d'une pâte de déflexion gingivale à forte viscosité (Expasyl<sup>®</sup>...). Elimination sous spray de la pâte de déflexion gingivale et réalisation de l'empreinte en laissant le fil dans le sulcus (**fig. 37**) (57).



**fig. 37** – Technique hybride de mise en condition gingivale combinant cordonnet rétracteur et pâte de déflexion (57).

**a** – Mise en place d'un fil triple 0 dans le sulcus des dents préparées.

**b** – Injection d'Expasyl<sup>®</sup> (Acteon) dans le sulcus par-dessus le fil triple 0.

La qualité du biotype va nous orienter dans le choix entre ces techniques. Le risque de lésion de l'attache épithéliale étant plus élevé lors de la mise en place des cordonnets rétracteurs, il paraît plus raisonnable de privilégier l'utilisation des pâtes de déflexion pour les parodontes fins ou moyens (57,62).

**En situation de limites cervicales juxta ou légèrement infra-gingivales : une légère déflexion sera nécessaire en plus de l'hémostase et de l'assèchement afin d'écarter la gencive. Pour cela nous disposons de cordonnets imprégnés ou de pâte de déflexion à viscosité élevée. Une empreinte optique intra-buccale sera également privilégiée dans cette situation (fig. 46).**

### 3.1.3. Limites très infra-gingivales (> 0,2 mm)

Il existe différentes situations pour lesquelles il n'est pas possible de conserver des limites de préparation supra-gingivales (50,56,57,61,64):

- Importance esthétique de la prothèse (dischromie...)
- Rétention prothétique insuffisante par manque de hauteur (minimum 4 mm)
- Renouvellement d'anciennes prothèses aux limites sous gingivales
- Délabrement par atteinte carieuse ou par fracture des tissus dentaires.

D'autre part, le collage dans les normes s'avère très difficile voire impossible, cependant la CFAO offre la possibilité de fabriquer des éléments pouvant être scellés telles qu'une infrastructure (en zircone, en alliage métallique (Co-Cr)) ou une couronne monolithique (en vitro-céramique au disilicate de lithium) avec des performances similaires (70).

#### 3.1.3.1. Empreinte optique intra buccale

**Dans cette situation, il est impossible de numériser directement les limites de préparation à l'aide d'une caméra optique intra buccale. Il est nécessaire d'aménager la situation pour modifier le rapport existant entre les limites et le parodonte.**

D'un point de vue parodontal, nous devons évaluer la dimension de **l'espace chirurgical pré-prothétique**. Si celui-ci est supérieur ou égal à 3 mm alors l'espace biologique est respecté et la situation n'indique donc pas de remodelage osseux pour le recréer (54). Deux solutions s'offrent alors à nous :

➤ La remontée de marche cervicale :

Elle est essentiellement destinée pour des reconstitutions partielles indirectes collées à type d'inlay, onlay, overlay. Son objectif principal est de faciliter les étapes de réalisation prothétique afin d'optimiser la qualité de la prothèse et, par conséquent, sa longévité. Elle améliore principalement les futures étapes d'empreinte et de collage et participe également à la préservation tissulaire en étendant les indications des restaurations partielles (71,72). Attention, cette technique n'est indiquée qu'à condition de pouvoir isoler parfaitement la préparation avec la mise en place d'un champ opératoire. L'installation de ce champ sera facilitée par des crampons à mors rentrants et /ou des ligatures. L'étape de matriçage est essentielle afin d'assurer une fine adaptation marginale du matériau ainsi que son profil d'émergence. Il existe différents types de matrices, circonférentielles (Tofflemire<sup>®</sup>, Automatrix<sup>®</sup>) ou galbées. La matrice doit être associée à un coin

interdentaire pour qu'elle soit bien ajustée en cervical (72). Le matériau est ensuite mis en place en étant foulé dans la cavité. Les limites de préparation sont maintenant redessinées en position supra-gingivale. Enfin, un polissage soigneux est réalisé sur le matériau (**fig. 38**) (71,73,74). Différents matériaux de restauration sont compatibles avec cette technique : les composites de viscosité moyenne, les composites fluides et les CVIMAR. Le choix se fera en tenant compte de la situation clinique (72).



**fig. 38** – Technique de remontée de marche cervicale sur une dent délabrée en infra-gingivale (72).  
**a** – Préparation à minima et mise en place du champ opératoire.  
**b** – Matrice et coin interdentaire assurent un sertissage des bords de préparation.  
**c** – Finition de la limite cervicale repositionnée en supra-gingivale.

➤ L'allongement chirurgical de la couronne clinique :

Essentiellement pour des restaurations complètes (couronnes) et dans le cas de restauration partielle (inlay-onlay) avec une limite cervicale trop enfouie ne permettant pas un matriçage étanche de la dent. L'élongation coronaire peut être effectuée de deux façons : par gingivectomie à biseau interne, avec ou sans résection osseuse, ou par lambeau déplacé apicalement, avec ou sans résection osseuse. Le choix entre ces deux techniques se fera en fonction de la hauteur de tissu kératinisé. Si l'espace biologique est atteint durant la manœuvre, il sera nécessaire d'associer à ces techniques une ostéotomie-ostéoplastie afin de recréer l'espace biologique (**fig.39**) (73,75).



**fig. 39** – Respect de l'espace biologique au cours d'une élongation coronaire (57).

**a** – Après anesthésie, sondage jusqu'au contact osseux pour apprécier cliniquement la proximité os - limite cervicale.

**b** – Durant la phase chirurgicale d'allongement coronaire, la sonde parodontale permet de déterminer s'il faut réséquer de l'os ou non pour rétablir l'espace biologique à distance de la zone prothétique.

La gingivectomie à biseau interne peut être réalisée à l'aide d'une lame froide, d'instruments rotatifs, d'électro chirurgie ou d'un laser (**fig. 40**).



**fig. 40** – Allongement chirurgical de la couronne clinique par gingivectomie à biseau interne (75).

**a** – Visualisation de la quantité de tissu à supprimer. La hauteur de tissu kératinisé permet cette technique plutôt qu'un lambeau positionné apicalement.

**b** – Incision à biseau interne.

**c** – Allongement coronaire après suture.

Cette éviction tissulaire doit être associée à une phase de temporisation par un élément provisoire. Une réévaluation après cicatrisation parodontale permet d'analyser la nouvelle position des limites cervicales. Avant d'entreprendre une gingivectomie il est nécessaire d'évaluer la situation parodontale (biotype, hauteur de tissu kératinisé, alignement des collets, zone esthétique...).

En situation de limites cervicales très infra-gingivales (> 0,2 mm) : Le choix d'une procédure d'accès aux limites cervicales devra tenir compte du type de matériau d'assemblage prévu (fig. 46). En effet, le collage de la pièce prothétique nécessitera de réajuster les limites de préparation vis à vis du parodonte afin que celui-ci puisse être réalisé dans de bonnes conditions (à l'abri de l'humidité, sous digue). Ainsi il est possible de réaliser une remontée de marche cervicale ou une élongation coronaire. Cette étape de réajustement des limites, nous permettra d'obtenir des limites juxta ou supra-gingivales. Les techniques d'accès et de numérisation des limites sont alors décrites précédemment.

### 3.1.3.2. Scannage d'une empreinte conventionnelle

L'empreinte optique intra buccale n'a pas complètement remplacé l'empreinte physico-chimique. Les caméras n'enregistrent que ce qu'elles voient, dans le cas de préparations avec des limites intra sulculaires profondes, de biseau, la lecture des limites de finition est difficile et approximative (33). Les matériaux à empreinte ont l'avantage de fuser dans le sulcus par compression si la gencive marginale a été préalablement écartée.

L'objectif principal de la mise en condition gingivale est donc d'obtenir une **déflexion gingivale** permettant aux matériaux à empreintes d'atteindre les limites de préparation. Il peut être intéressant d'adjoindre une action chimique afin de contrôler les éventuels suintements ou saignements persistants (48,57,61,62).

2 solutions :

- Technique mécanico-chimique : pâte de déflexion à forte viscosité, technique hybride (type cordonnets imprégnés)
- Empreinte par guidage et coffrage résino-résineux (**fig. 41**).



**fig. 41** – Une empreinte à coque (duplicata de la couronne provisoire évidée). Notons la précision d'enregistrement des limites cervicales en infra-gingivale (63).

- Application en CFAO :

Le chirurgien-dentiste réalise la prise **d’empreinte traditionnelle**. Il existe à ce stade différents moyens de numériser les informations enregistrées dans cette empreinte. Il s’agira d’une numérisation indirecte car elle n’est pas faite directement en bouche. Elle peut être réalisée sur l’empreinte conventionnelle ou sur le modèle en plâtre et ce, au laboratoire ou au cabinet.

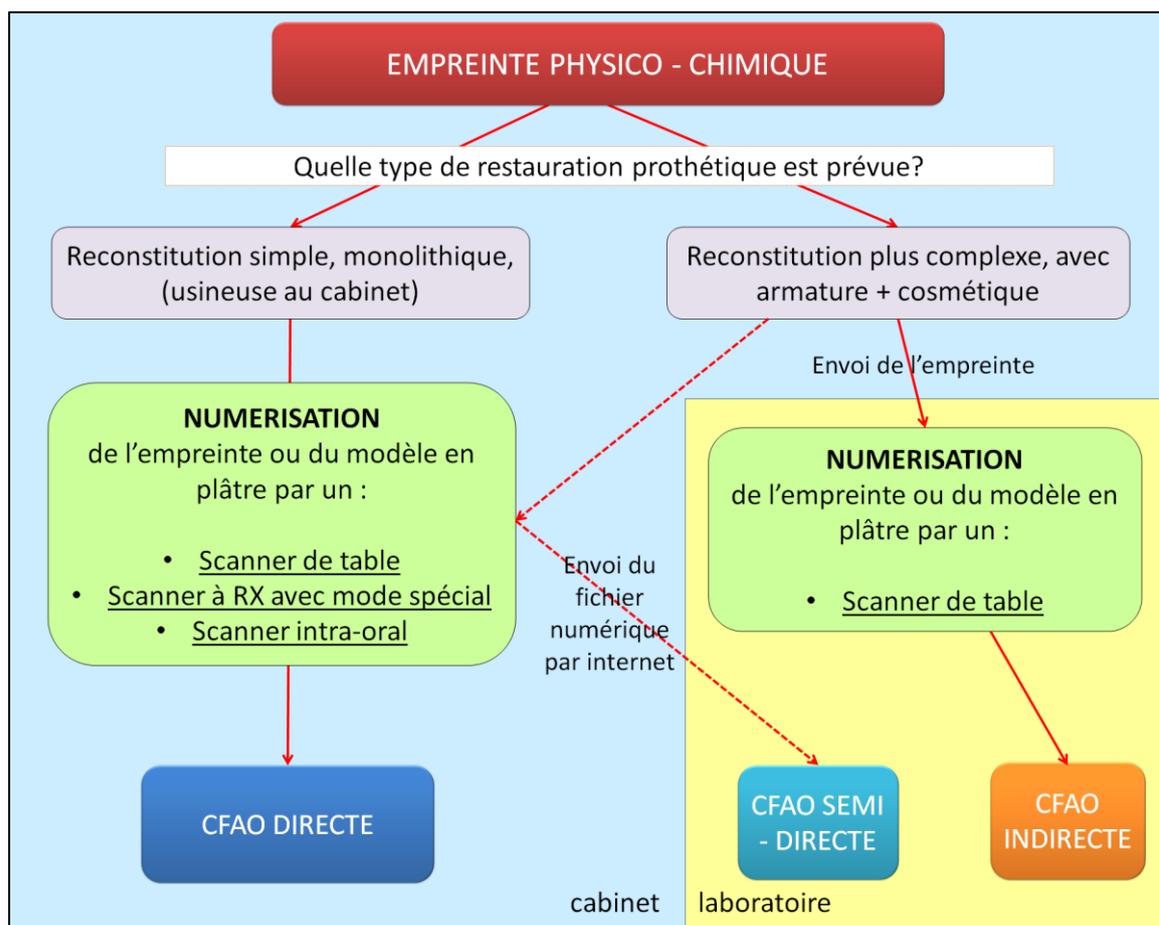
Le scannage de l’empreinte permet de s’affranchir de l’étape de coulée de plâtre qui est chronophage et source d’imprécision. Un matériau d’empreinte numérisable est alors utilisé de préférence (alginate et silicone spécifique), afin d’éliminer la nécessité de pulvériser de la poudre pendant le processus de numérisation (76).

La numérisation de l’empreinte peut se faire à l’aide de différents scanners :

- **Scanner de table** (cabinet ou laboratoire) (21,22).
- **Scanners à rayons X** ayant un mode permettant de numériser les empreintes silicones (cabinet) (13).
- **Scanner intra-oral** ayant un mode négatif (type CEREC Bluecam) (cabinet). Si la caméra optique intra-buccale ne dispose pas du mode permettant de numériser directement l’empreinte, il est possible de couler le modèle en plâtre puis de le numériser.

Ensuite, le modèle virtuel obtenu est libre d’être traité au cabinet ou au laboratoire pour les étapes de CAD-CAM, ainsi il est possible de faire de la **CFAO directe** (sans sortir du cabinet) ou **indirecte** (intervention du laboratoire), voire **semi-directe**.

La technique de numérisation appropriée sera choisie en fonction du type de CFAO que nous désirons mettre en œuvre et celui-ci dépendra de notre équipement (usineuse au cabinet) et du type de restauration prothétique à réaliser (monolithique, stratification). Nous avons souhaité réaliser un schéma permettant d’orienter nos choix pour une technique de numérisation ainsi que les diverses possibilités de CFAO (**fig. 42**).



**fig. 42** - Choix d'une technique de numérisation et possibilités de CFAO à partir d'une empreinte conventionnelle. La complexité de la restauration et notre équipement au cabinet (chaîne complète avec usineuse) nous orientent vers une réalisation au cabinet ou au laboratoire. Au cabinet, nous avons plusieurs scanners à disposition pour numériser l'empreinte ou le modèle en plâtre. Si nous décidons de déléguer la fabrication au laboratoire, il est alors possible de leur envoyer l'empreinte physique ou le fichier numérisé.

Si la pièce prothétique est prévue d'être scellée, les limites très infra-gingivales peuvent être laissées telles qu'elles. Nous tenterons alors de réaliser une empreinte conventionnelle. Pour cela, il faudra exercer une déflexion sur la gencive (cordonnet, pâte de déflexion, empreinte à coque) voire une éviction tissulaire accompagnée d'une phase temporisation sous prothèse provisoire. Ensuite, les informations issues de cette empreinte pourront être numérisées par différents scanners pour mettre en place divers type de CFAO (fig. 42). Dans cette situation, la numérisation est dite indirecte. Si l'empreinte conventionnelle n'est pas possible, nous devons réajuster les limites de préparations par allongement chirurgicale de la couronne pour finalement se retrouver dans une situation de limites juxta ou supra-gingivales (fig. 46).

### 3.1.3.3. Alternative par imagerie 3D

L'utilisation de la radiologie pour la prise d'empreinte en prothèse fixée, n'est encore à l'heure actuelle qu'au stade de recherche scientifique et de développements futurs (30).

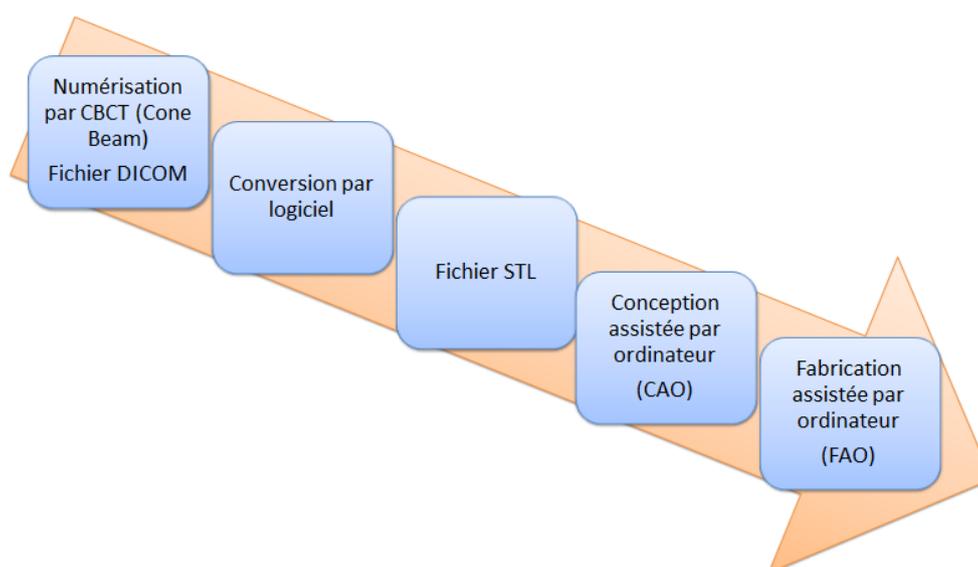
#### 3.1.3.3.1. CBCT

La diffusion des appareils de radiologie 3D augmente dans les cabinets d'omnipratique. Les rayons X traversant les tissus, l'accès aux limites de préparation ne serait plus un problème. L'acquisition par CBCT est extra orale et obtenue en quelques secondes. Une étude préclinique a évalué la possibilité d'utiliser la tomographie volumique à faisceau conique pour réaliser une empreinte de prothèse fixée (77).

- Méthode / Résultat :

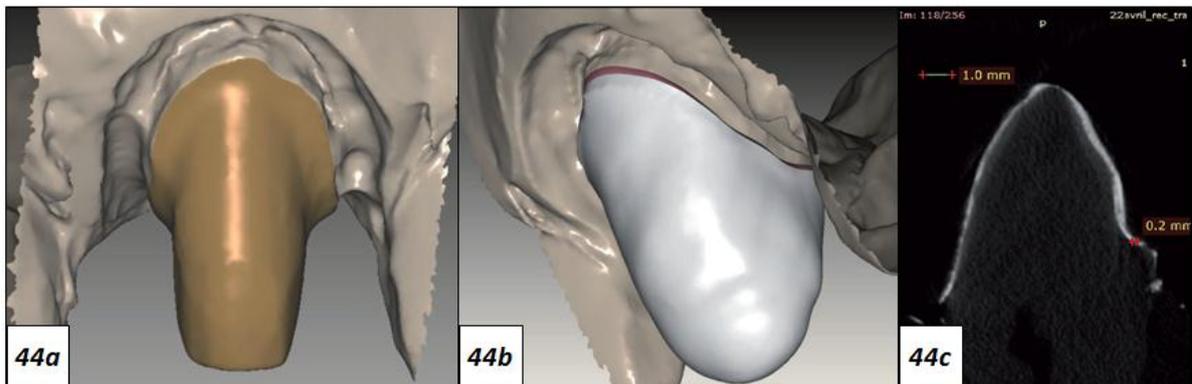
Le principe est de radiographier par CBCT une préparation dentaire puis de réaliser par CAO – FAO l'élément prothétique. La méthode utilisée dans cette étude est similaire à celle mise en œuvre pour la réalisation d'un guide chirurgical à partir d'un CBCT mais elle trouve une nouvelle indication.

La numérisation par CBCT (du commerce) permet d'obtenir des fichiers DICOM (format standard utilisé pour le codage des images en radiologie numérique). Ces fichiers sont convertis par des logiciels en fichiers STL (format 3D standard utilisé dans la transmission des données en CFAO). Les étapes suivantes de CAO-FAO sont classiques (**fig. 43, 44**) (77).



**fig. 43** – Les étapes de réalisation d'une prothèse fixée par CFAO dentaire suite à la numérisation de la préparation dentaire par CBCT.

Les résultats de l'étude montrent que la couronne ou l'armature obtenues s'adaptent macroscopiquement à la préparation, notamment au niveau des limites cervicales. En ce qui concerne l'évaluation du joint dento-prothétique, une analyse montre une épaisseur homogène d'environ 200  $\mu\text{m}$ . Pour rappel, un joint dento-prothétique acceptable cliniquement doit être inférieur à 120  $\mu\text{m}$ .



**fig. 44** – Réalisation d'une couronne par CFAO après numérisation de la préparation dentaire par CBCT (77).

**a** – Fichier STL obtenu après acquisition par CBCT et conversion du fichier DICOM.

**b** – Chape virtuelle.

**c** – Adaptation de la pièce prothétique (épaisseur du joint dento-prothétique).

**Cette technique de numérisation s'affranchit totalement du conditionnement tissulaire** puisque les rayons X traversent les tissus mous.

- Discussion :

L'intérêt de ce procédé serait de numériser de façon reproductible et automatisé tout en s'affranchissant des préparations tissulaires, plus ou moins invasives, pathogènes et chronophages pour l'accès aux limites. De plus la qualité du résultat ne serait plus soumise à de nombreux paramètres cliniques tels que la présence de sang ou de salive. L'acquisition serait extra orale et d'environ 10 à 20 s.

Aujourd'hui, une des limites en radiologie 3D est constituée par les restaurations métalliques présentes en bouche qui induisent des artefacts nuisant à la qualité et à la précision des enregistrements. Des traitements informatiques sont en évolution pour limiter ce phénomène (77).

Il est communément admis que l'épaisseur du joint dento-prothétique au niveau de la limite de préparation doit être inférieur à 120  $\mu\text{m}$  pour être cliniquement acceptable. Dans cette étude, le joint obtenu d'environ 200  $\mu\text{m}$  se rapproche de la demande clinique. Sachant que la définition des

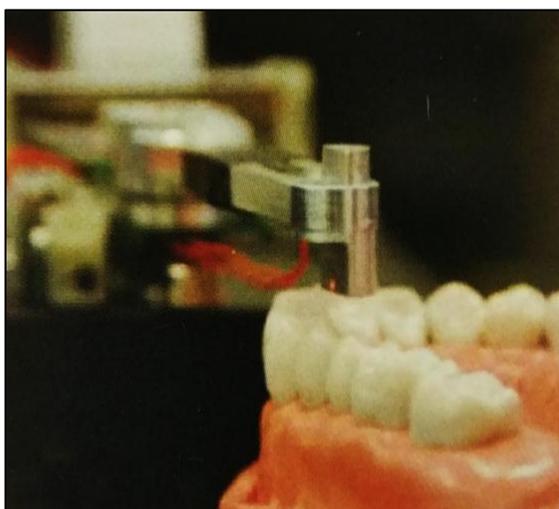
CBCT augmente d'année en année en raison des progrès des algorithmes de reconstruction et de l'amélioration des capteurs, il est probable que sous peu, la définition soit acceptable.

L'irradiation induite par ce type d'examen est à prendre en considération. Mais là encore, l'amélioration matérielle et logicielle rapide fait décroître la dose reçue.

Ces résultats sont encourageants et permettent d'envisager à terme une étude clinique.

### 3.1.3.3.2. Scanner intraoraux à ultrasons

L'échographie est une méthode de diagnostic rapide, non invasive, précise et rentable sans effets secondaires nocifs. Klaus Radermacher, responsable de l'ingénierie médicale à l'université de technologie RWTH Aachen, a développé l'utilisation de l'échographie intra-orale. Des projets de technologie d'acquisition de données sont en cours de développement dans son laboratoire depuis 2009 pour des stratégies de numérisation 3D à ultrasons. Un prototype de microscanner à ultrasons miniaturisé est en cours d'élaboration (**fig. 45**) (30).



**fig. 45** – Prototype de micro-scanner intra-oral ultrasonique développé à Aachen University (30).

En bouche, il pourrait enregistrer les limites marginales indépendamment de la présence de sang, de salive, y compris les limites sous gingivales, sans effet négatif sur le parodonte.

Les premiers résultats pour la résolution de ce type ont été de 60  $\mu\text{m}$  à la distance focale mais l'imprécision augmente lorsque cette distance idéale de mesure n'est plus respectée.

**Aucune mise en condition gingivale** n'est requise pour cette technique de numérisation.

De nouvelles techniques de numérisation basées sur l'imagerie 3D (type cone-beam, échographie intra-orale) sont en cours de développement dans le but de numériser directement la denture en bouche sans tenir compte de la présence de sang, salive ou gencive. Ces avantages seraient particulièrement intéressants en cas de limites de préparations infra-gingivales car l'accès serait direct, sans nécessité de mise en condition gingivale (fig. 46).

### 3.2. Tableau de recommandations

Situation des limites	SUPRA-GINGIVALE	JUXTA ET LEGEREMENT INFRA-GINGIVALE	TRES INFRA-GINGIVALE (> 0,2 mm)		
			COLLAGE après réajustement des limites*	SCELLEMENT	Recherche Actuelle
Numérisation	NUMERISATION DIRECTE par SCANNERS INTRA-ORAUX			NUMERISATION INDIRECTE par SCANNERS EXTRA-ORAUX	NUMERISATION DIRECTE CBCT Prototype de micro-scanner à US
Objectifs et recommandations d'une technique de mise en condition gingivale	Hémostase, Assèchement	Hémostase, Assèchement, Légère Déflexion	Hémostase, Assèchement, ± Légère Déflexion	Hémostase, Assèchement, Déflexion +++, ± Eviction tissulaire	Accès direct ?
	Solution chimique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordonnet imprégné</li> <li>• Pâte de déflexion</li> </ul>	A adapter à la nouvelle position des limites	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cordonnet imprégné ou pâte de déflexion</li> <li>• Empreinte par guidage et coffrage résino-résineux</li> <li>• Eviction gingivale + temporisation sous prothèse provisoire</li> </ul>	Pas de mise en condition gingivale ?

fig. 46 – Tableau de recommandations permettant d'orienter nos choix dans une procédure d'accès aux limites de préparation ainsi qu'une technique de numérisation en CFAO adaptée à la situation clinique.

\* Collage uniquement après réajustement des limites (en juxta ou supra-gingivale) par remontée de marche cervicale ou allongement chirurgicale de la couronne clinique.

## Conclusion et perspective

La CFAO dentaire s'est immiscée petit à petit dans notre pratique et a grandement évolué ces dernières années. Elle a confirmé qu'elle nous apportait un gain de précision, de prédictibilité, de temps et de confort. Les possibilités de traitement qu'elle nous offre ne cessent de croître avec l'évolution des nouvelles technologies et l'ouverture des fichiers numériques. Elle s'enrichit continuellement de nouveaux outils et facilite nos diagnostics, nos planifications et nos réalisations prothétiques.

L'acquisition des données numériques est une étape essentielle et différentes techniques sont à notre disposition pour la réaliser. La numérisation directe en bouche à l'aide d'un scanner intra-oral doit être privilégiée. En effet l'empreinte optique intra-buccale optimise la CFAO en s'affranchissant d'étapes traditionnelles sources d'imprécisions. Or ce type d'empreinte est exigeant dans sa manipulation et nécessite d'acquérir de nouveaux protocoles. Il est par exemple nécessaire d'effectuer une mise en condition gingivale afin de mettre en évidence les limites de préparation car la caméra optique n'enregistre que ce qu'elle voit. Nous nous sommes donc demandés quelles étaient les procédures d'accès aux limites à mettre en œuvre afin d'obtenir une empreinte virtuelle de qualité et quelles étaient les différentes techniques de numérisation adaptées à la situation.

Des techniques de mise en condition gingivale similaires à celles pratiquées en prothèse fixée traditionnelle permettent la numérisation directe des limites de préparation par un scanner intra-oral. Lorsque ces limites sont trop enfouies, il est possible de réajuster leur niveau par rapport à la gencive afin de réaliser une empreinte optique intra-buccale. Sinon une empreinte physico-chimique pourra être numérisée dans un second temps. **Notre choix tiendra compte de la future restauration prothétique et de son mode d'assemblage.**

De nouvelles perspectives de numérisation directe intra-buccale voient le jour grâce à la recherche et au développement de nouvelles technologies. Par exemple, un prototype de micro-scanner intra-oral ultrasonique aurait la capacité de scanner en bouche les tissus dentaires indépendamment de la présence de salive, sang ou gencive, se révélant ainsi très intéressant lors de limites intra-sulculaires profondes.

Le progrès ne s'arrête pas là : des prototypes ont déjà été proposés au salon de l'IDS 2015, comme une usineuse fonctionnant par soustraction laser (Lasermill de Dental) ou un véritable porte-empreinte numérique qui serait capable de réaliser l'empreinte optique en un clic (iTray de Medentec) (12). Toutes ces innovations devraient prochainement encore faire évoluer la dentisterie numérique en réduisant les erreurs et en facilitant son utilisation.

## Bibliographie

1. Marniquet S, Attal JP, Tapie L, Fron Chabouis H. Les matériaux usinables en dentisterie restauratrice et en prothèse fixée - Guide pratique synthétique. ID Inf Dent. 2014;96(20):59-64.
2. Hollender M, Allard Y, Richelme J, Casu JP. La CFAO indirecte. ID Inf Dent. 2014;96(20):22-9.
3. Landwerlin O. Spécial CFAO - Quel équipement choisir ? - partie 1 (Dentoscope 2015). <http://dento-reseau.com/posts/special-cfao-quel-equipement-choisir-partie-1> (consulté le 08.10.2015).
4. Duret F. Année 2010, année CFAO. Réal Clin. 2009;20(4):213-4.
5. Belser U. Changement de paradigmes en prothèses conjointe. Réal Clin. 2010;21(2):79-85.
6. Cazier S, Chieze JB, Hrycenko MA. Place de la CFAO directe en omnipratique, inlay-onlay. Réal Clin. 2009;20(4):219-30.
7. Chieze JB, Cazier S, Moussally C. Place de la CFAO directe en omnipratique, quadrant-couronne-facette. Réal Clin. 2009;20(4):231-42.
8. Guillaume A. Procédure CAD. Technol Dent. 2008;(260-261):43-85.
9. Landwerlin O. IDS 2013 – Les nouveautés en CAD/CAM et imagerie 3D pour le cabinet dentaire. CAD/CAM. 2013;3(2):16-20.
10. Pia JP, Reny G, Soenen A, d’Incau E. Apport du système Straumann Cares en prothèse fixée dento supportée. ID Inf Dent. 2014;96(29):26-31.
11. Cordelette M, Jordan Combarieu F. Evolutions majeures de la CFAO directe. ID Inf Dent. 2014;96(20):38-46.
12. Landwerlin O, Berruet J-L. Empreinte optique et CFAO dentaire à l’IDS 2015. CAD/CAM, DT Study Club. 2015;2(2):64-70.
13. Jaisson M. CFAO : les différents domaines de l’art dentaire touchés par l’innovation. CAD/CAM. 2013;3(2):26-9.
14. Schneider C, Finelle G, Galucci GO. Management of the digital stream in dentistry. J Odontol Stomatol. 2015;44(3):147-61.
15. Margossian P, Maille G, Loyer E, Niboyet C. Apport de la CFAO en implantologie. Cah Prothèse. 2014;hors-série (Nouveaux regards sur la CFAO):51-7.
16. Moussally C, Coudray L, Tirlet G, Attal JP. CFAO, Ce qui change pour le praticien. Réal Clin. 2009;20(4):216.

17. Congrès Aria cad-cam (2013 ; Lyon). Le succès du numérique, 27-28 septembre; 2013, Lyon, France. In : Fil Dent ; 2013: 87: 26-7.
18. Landwerlin O. Apports de la CFAO Dentaire. Fil Dent. 2015;(100):40-1.
19. Jaisson M, Felenc S. Occlusion et CFAO. ID Inf Dent. 2014;96(20):48-56.
20. Duret F, Pélissier B. Différentes méthodes d’empreinte en CFAO dentaire. In : Encyclo Méd Chir, Médecine buccale [Article 28-740-R-10], 2010.
21. Landwerlin O. La CFAO dentaire facile au fauteuil avec le scan d’empreinte silicone. CAD/CAM. 2014;(3):34-8.
22. Conférence du Pr Duret F sur GITV (2013, locaux Henry Schein Marseille). Empreinte optique, La clé du succès. In : Fil Dent ; 2013:87:3-10.
23. Montenero J. la CFAO indirecte dans un laboratoire de prothèse. Réal Clin. 2009;20(4):257-63.
24. Soenen A. La CFAO semi directe, principes et indications. ID Inf Dent. 2014;96(20):30-6.
25. Etienne O. Le système Trios de 3Shape, de l’empreinte optique à la réalisation prothétique. ID Inf Dent. 2014;96(29):18-25.
26. Bouquet F, Fonteneau C. Intégration de la CFAO directe au cabinet dentaire. Réal Clin. 2009;20(4):243-8.
27. Landwerlin O. Spécial CFAO - Quel équipement choisir ? - partie 2 (Dentoscope. 2015). <http://dento-reseau.com/posts/quel-equipement-choisir-partie-2> (consulté le 10.10.2015).
28. Van der Meer W, Andriessen F, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. Plos One. 2012;7(8):1-8.
29. Jouanjean G. Les empreintes optiques au cabinet dentaire. Thèse d’exercice : Chirurgie dentaire : Nantes ; 2013.
30. Landwerlin O, Fages M. L’empreinte optique : Silence on tourne ! Strat Prothétique. 2014;14(2):115-28.
31. Duret F. L’aventure de la CFAO dentaire. ID Inf Dent. 2014;96(20):18-21.
32. Soenen A, Sireix C, Le Gac O. L’empreinte optique intra buccale au service de la CFAO semi directe en clinique. Fil Dent. 2014;(97):16-25.
33. Manfred K. Prise d’empreinte intrabuccale : les ensembles de données numériques pourront être collectés partout. CAD/CAM. 2012;2(1):13-5.
34. Boitelle P, Fromentin O, Mawussi B, Tapie L, Vennat E. Evaluation de l’adaptation des restaurations prothétiques fixées réalisées par CFAO et facteurs de variation : revue de littérature. Cah Prothèse. 2013;(161):59-75.

35. Calas Bennasar I, Raynal J, Fages M, Bennasar B. Préservation du parodonte, impacts innovants du tout céramique au numérique. *Strat Prothétique*. 2014;14(1):17-24.
36. Seelbach P, Brueckel C, Wöstmann B. Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow. *Clin Oral Investig*. 2013;17(7):1759-64.
37. Cazier S, Antonio LJ, Moussally C. Restaurations adhésives esthétiques et CFAO. *Clinic*. 2015;(36):73-7.
38. Boeddinghaus M, Breloer E, Rehmann P, Wostmann B. Accuracy of single-tooth restorations based on intraoral digital and conventional impressions in patients. *Clin Oral Investig*. 2015;19(8):2027-34.
39. Syrek A, Reich G, Ranftl D, Klein C, Cerny B, Brodesser J. Clinical evaluation of all-ceramic crowns fabricated from intraoral digital impressions based on the principle of active wavefront sampling. *J Dent*. 2010;38(7):553-9.
40. Guth J, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig*. 2013;17(4):1201-8.
41. Sans E. Justesse et précision des modèles de travail issus de l’empreinte optique. Thèse d’exercice : Chirurgie dentaire : Bordeaux ; 2015.
42. Landwerlin O. CFAO dentaire et empreinte optique : les caméras au banc d’essai. *Fil Dent*. 2014;(97):34-41.
43. Fournot A, Mariani P, Duvert R. Les caméras optiques - Banc d’essai. *ID Inf Dent*. 2015;97(38):80-90.
44. Raynal J, Archien C. De la stratégie prothétique à la stratégie numérique, rôle du biomimétisme. *Strat Prothétique*. 2014;14(2):69-75.
45. Patzelt S, Emmanouilidi A, Stampf S, Strub J, Att W. Accuracy of full-arch scans using intraoral scanners. *Clin Oral Investig*. 2013;18(6):1687-94.
46. Nedelcu RG, Persson ASK. Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: An in vitro comparison based on 3-dimensional analysis. *J Prosthet Dent*. 2014;112(6):1461-71.
47. Marzouk R. Les limites cervicales. *ID Inf Dent*. 2001;83(39):3228-34.
48. Selva C, Destruhaut F, Baillon J, Galibourg A, Esclassan R. Accès aux limites en prothèse fixée : quelles techniques utilisent les praticiens exerçant en Midi-Pyrénées ? *Cah Prothèse*. 2014;(166):47-54.
49. Armand S, Couret H. Profil d’émergence en prothèse fixée - Intérêts de la double empreinte. *Cah Prothèse*. 2004;(125):17-25.
50. Clément M, Noharet R, Viennot S. Réalisation clinique d’une prothèse fixée unitaire : optimisation du résultat esthétique. In : *Encyclo Méd Chir, Médecine buccale [Article 28-815-L-90]*, 2014.

51. Morchad B, Elyamani A, Elmohtarim B, L’Kassmi H. Les limites cervicales en prothèse fixée traditionnelle. *Cah Prothèse*. 2014;(166):25-34.
52. Stafin-Zerbib A, Florentin F, Armand S, Darde S, Mir J. Incidences parodontales des accès aux limites en prothèse fixée : revue de littérature. *Strat Prothétique*. 2008;8(2):133-41.
53. Descamps F. Accès à la limite cervicale et au sulcus. In : *Pratique de l’empreinte en prothèse fixée, du pilier naturel à l’implant, des techniques classiques à la CFAO*. Paris : CdP ; 2012. p. 32-44.
54. Borghetti A, Monnet-Corti V. Espace biologique. In : *Chirurgie plastique parodontale, 2e édition*. Paris : CdP ; 2008. p. 29-44.
55. Paldino P. Les techniques de mise en condition gingivale avant empreinte : choix et conséquences parodontales. Thèse d’exercice : *Chirurgie dentaire* : Lyon 1 ; 1996.
56. Morchad B, El Yamani A. Erreurs en prothèse fixée lors des préparations et des essais cliniques. *Cah Prothèse*. 2012;(157):39-45.
57. Bartala M, Coly-Canderatz K, Brousseau J. Prothèse fixée et parodonte : favoriser et pérenniser l’intégration biologique et esthétique. *Cah Prothèse*. 2013;(164):31-9.
58. Borghetti A, Monnet-Corti V. Classifications parodontales. In : *Chirurgie plastique parodontale, 2e édition*. Paris : CdP ; 2008. p. 33-4.
59. Lesage P. Expasyl : protocole d’utilisation en prothèse fixée. *Clinic*. 2002;23(2):97-103.
60. Blanchard J, Geoffrion J, Mariescu S, Surleve-Bazeille J. Choix du type d’éviction gingivale. *Réal Clin*. 1993;4(4):447-58.
61. Nino AT, Giovanni ES. Méthodes de rétraction gingivale. *Rev Mens Suisse Odontostomatol*. 2009;119(2):130-8.
62. Ducret M, Viennot S. L’accès aux limites cervicales : arbre décisionnel. *Cah Prothèse*. 2013;(161):53-7.
63. Viennot S, Jeannin C, Collier F, Malquarti G. Contribution d’Expasyl® à la précision du rebasage infra-gingival des prothèses provisoires fixées. *Strat Prothétique*. 2007;7(3):187-98.
64. Viennot S, Malquarti G, Guiu C, Pirel C. Prothèse fixée de temporisation. In : *Encyclo Méd Chir, Médecine buccale [Article 28-740-G-10]*, 2008.
65. Christensen GJ. Simplifying and improving soft-tissue management for fixed-prosthetic impressions. *J Am Dent Assoc*. 2013;144(2):198-200.
66. Ducret M, Viennot S. La mise en condition gingivale : une polyvalence d’indications. *Cah Prothèse*. 2014;(168):47-53.
67. Prasanna GSR, Reddy K, Kumar RKN, Shivaprakash S. Evaluation of efficacy of different gingival displacement materials on gingival sulcus width. *J Contemp Dent Pract*. 2013;14(2):217-21.

68. Schittly J. Au-delà des limites. Cah Prothèse. 2014;(166):5-6.
69. Jeannin V. 3M-LAVA-COS°. Fil Dent. 2011;(63):38-42.
70. Pilavyan E, Anckenmann L, Etienne O. Assemblage des restaurations usinées en céramique : un choix raisonné. Strat Prothétique. 2014;14(2):131-44.
71. Decup F, Gaucher C. Approche bioconservatrice des tissus pour les restaurations indirectes. Réal Clin. 2014;25(4):279-87.
72. Kouassi G, Atlan A, Boukpepsi T. Matériaux de restauration utilisés pour les remontées de marge. Clinic. 2015;(338):423-9.
73. Raux F, Dahan L. Comment faire un inlay-onlay esthétique ? ID Inf Dent. 2011;(7):14-23.
74. Koubi S, Faucher A, Brouillet M. Les inlays-onlays en résine composite : nouvelle approche. ID Inf Dent. 2006;(5):194-205.
75. Borghetti A, Monnet-Corti V. Aménagement du sourire gingival. In : Chirurgie plastique parodontale, 2e édition. Paris : CdP ; 2008. p. 307-11.
76. Casu JP. Au cabinet aucun changement mais au laboratoire. Fil Dent. 2011 (63):56-58.
77. Darugar K, Bensidhoum M, Chaouat D, Soffer E. Empreinte en prothèse fixée par tomographie à faisceau conique (cone beam) : étude pré-clinique. Cah Prothèse. 2014;(166):65-72.

## **Lexique**

**CFAO** : Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur

**CAO** : Conception Assistée par Ordinateur

**FAO** : Fabrication Assistée par Ordinateur

**CAD-CAM** : Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing. Il s'agit du terme anglais désignant la CAO-FAO.

**CAD** : Computer Aided Design

**CAM** : Computer Aided Manufacturing

**STL** : Standard Tessellation Language

**CBCT** : Cone Beam Computed Tomography

**DICOM** : Digital Imaging and COmmunications in Medecine

**DVO** : Dimension Vertical d'Occlusion

**MPU** : Modèle Positif Unitaire

**HD** : Haute Définition

**RAM** : Random Acces Memory

**USB** : Universal Serial Bus

