



**HAL**  
open science

# Apports de la CFAO dans la réhabilitation esthétique du sourire

Mathieu Roques

► **To cite this version:**

Mathieu Roques. Apports de la CFAO dans la réhabilitation esthétique du sourire. Chirurgie. 2021.  
dumas-03695002

**HAL Id: dumas-03695002**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03695002v1>**

Submitted on 14 Jun 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

**THESE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université  
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales  
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

École de Médecine Dentaire  
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Apports de la CFAO dans la réhabilitation esthétique du  
sourire***

Présentée par

**ROQUES Mathieu**

Né le 22 février 1995  
A Marseille

Thèse soutenue le **Lundi 6 décembre 2021**

Devant le jury composé de

**Président : Professeur RUQUET Michel**

**Assesseurs : Professeur TASSERY Hervé**

**Docteur GIRAUD Thomas**

**Docteur BAUDINET Thomas**



**THESE**

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ÉTAT  
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université  
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales  
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

**École de Médecine Dentaire**  
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Apports de la CFAO dans la réhabilitation esthétique du  
sourire***

Présentée par

**ROQUES Mathieu**

Né le 22 février 1995  
A Marseille

Thèse soutenue le **Lundi 6 décembre 2021**

Devant le jury composé de

**Président : Professeur RUQUET Michel**

**Assesseurs : Professeur TASSERY Hervé**

**Docteur GIRAUD Thomas**

**Docteur BAUDINET Thomas**

## ADMINISTRATION

Mise à jour : sept. 2020

### **Doyens Honoraires**

Professeur	Raymond SANGIUOLO†
Professeur	Henry ZATTARA
Professeur	André SALVADORI
Professeur	Jacques DEJOU

### **Doyen**

Professeur	Bruno FOTI
------------	------------

### **Assesseurs**

Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

### **Directeurs de Départements**

Formation Initiale

Professeur	Michel RUQUET
------------	---------------

Recherche

Professeur	Anne RASKIN
------------	-------------

Formation Continue

Professeur	Frédéric BUKIET
------------	-----------------

### **Charges de missions**

Relations Internationales

Professeur	Hervé TASSERY
------------	---------------

Internat et Diplômes d'études spécialisées

Professeur	Virginie MONNET-CORTI
------------	-----------------------

Affaires générales

Docteur	Patrick TAVITIAN
---------	------------------

### **Responsable des Services Administratifs et Techniques**

Madame	Katia LEONI
--------	-------------

## **LISTE DES ENSEIGNANTS**

### **PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

BUKIET Frédéric (58-01)  
FOTI Bruno (56-02)  
LE GALL Michel (56-01)  
MONNET-CORTI Virginie (57-01)  
ORTHLIEB Jean-Daniel (58-01)  
RASKIN Anne (58-01)  
RUQUET Michel (58-01)  
TARDIEU Corinne (56-01)  
TARDIVO Delphine (56-02)  
TASSERY Hervé (58-01)

### **PROFESSEUR DES UNIVERSITES**

ABOUT Imad (65)

### **PROFESSEURS EMERITES**

DEJOU Jacques  
HUE Olivier

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD**

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAN Romain (56-02)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Michel (58-01)
BELLONI Didier (57-01)	LAURENT Patrick (57-01)
BOHAR Jacques (56-01)	MAILLE Gérald (58-01)
CAMOIN Ariane (56-01)	PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)	POMMEL Ludovic (58-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)	PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
GAUBERT Jacques (56-01)	RÉ Jean-Philippe (58-01)
GIRAUD Thomas (58-01)	ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)	STEPHAN Grégory (58-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)	TAVITIAN Patrick (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)	TERRER Elodie (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)

### **MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES**

BALLESTER Benoît (58-01)  
BLANCHET Isabelle (56-01)  
MENSE Chloé (58-01)  
SILVESTRI Frédéric (58-01)

## **ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES**

AL AZAWI Hala (56-01)	HAHN-GOLETTI Larissa (58-01)
ANTEZACK Angeline (57-01)	LAURENT Camille (58-01)
ARNIER Canelle (56-01)	LIOTARD Alicia (58-01)
BAUDINET Thomas (58-01)	MADENIAN Pauline (58-01)
BRINCAT Arthur (57-01)	MANSUY Charlotte (58-01)
BROS Agnès (56-01)	MARTIN William (56-01)
CASAZZA Estelle (56-01)	MATERRA Rémi (58-01)
CASTRO Romain (57-01)	PARFU Anne (58-01)
CHIARINI Thomas (58-01)	PASCHEL Laura (58-01)
DAVID Laura (56-01)	PILLIOL Virginie (58-01)
DRAUSSIN Thierry (57-01)	ROUSCOFF Eva (56-01)
DUMAS Cathy (57-01)	SANTUNIONE Charlotte (58-01)
FAURE-BRAC Mathias (57-01)	VINAÏ Michael (56-01)
FERRE Enzo (58-01)	
HADJ-SAID Mehdi	

## **ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES**

GRINE Ghilès (57-01)  
HOUVENAEGHEL Brice (57-01)

Intitulés des sections CNU :

- 56<sup>ème</sup> section : Développement, croissance et prévention
- 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
- 56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale
- 57<sup>ème</sup> section : Chirurgie orale ; Parodontologie ; Biologie Orale
- 57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale - 58<sup>ème</sup> section : Réhabilitation orale
- 58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers

***À Monsieur le Professeur Michel RUQUET,***

*Président de jury, Professeur Universitaire - Praticien Hospitalier.*

*Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur de  
présider mon jury de thèse.*

*Merci pour la qualité de vos enseignements et  
votre disponibilité auprès des étudiants. Vous  
m'avez beaucoup apporté grâce à votre grande  
pédagogie et vos nombreux conseils.*

*Je vous témoigne ici ma plus grande admiration  
et mon estime la plus sincère.*



***À Monsieur le Professeur Hervé TASSERY,***

*Professeur Universitaire - Praticien Hospitalier.*

*Je tiens à vous remercier pour votre présence  
dans ce jury.*

*Merci infiniment pour l'enseignement que vous  
m'avez apporté tout au long de mon cursus  
universitaire et pour votre enthousiasme.*

*Veillez trouver ici le témoignage de mon profond  
respect.*

**À Monsieur le Docteur Thomas GIRAUD,**

*Maitre de conférences des universités - Praticien Hospitalier.*

*Je vous remercie pour votre pédagogie et votre  
bienveillance envers les étudiants pour leur  
apporter aide et conseils.*

*Ces trois années de clinique sous votre instruction  
fut source de motivation à soigner avec toujours  
plus de rigueur, d'implication et d'habilité.*

*Soyez assuré, Monsieur, de ma grande  
reconnaissance et de mon profond respect.*

**À Monsieur le Docteur Thomas BAUDINET,**

*Directeur de thèse, Assistant hospitalier et universitaire.*

*Je vous remercie de m'avoir pris sous votre direction pour la rédaction de cette thèse dont le sujet me passionne tout particulièrement. Votre disponibilité et vos conseils tout au long de ce travail ont été d'une précieuse aide pour le mener à bien et je vous en suis reconnaissant.*

*Veillez recevoir à travers ce travail, l'expression de ma gratitude et mes sentiments les meilleurs.*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Numérisation des méthodes : quels sont les outils à disposition ?.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Outils d'acquisition.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. La photographie .....	2
1.1.1.1. Équipements de base .....	2
1.1.1.2. Paramètres de base .....	6
1.1.2. L'empreinte optique .....	10
1.1.2.1. Technologies de capture .....	11
1.1.2.2. Poudre de contraste.....	14
<b>1.2. Outils de conception assistée par ordinateur.....</b>	<b>15</b>
1.2.1. Conception en 2D.....	15
1.2.2. Conception en 3D.....	16
1.2.2.1. Type d'architecture .....	17
1.2.2.2. Technologie de conception .....	18
1.2.2.3. Articulateur virtuel.....	19
<b>1.3. Outils de fabrication assistée par ordinateur .....</b>	<b>20</b>
1.3.1. La fabrication soustractive .....	20
1.3.1.1. Nombre d'axes de coupe.....	20
1.3.1.2. Méthodes de fraisage .....	22
1.3.2. La fabrication additive .....	23
<b>2. Application des outils numériques tout au long du plan de traitement.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Acquisition des données préopératoires .....</b>	<b>25</b>
2.1.1. Photographies préopératoires.....	25
2.1.1.1. Photographies du plan facial .....	25
2.1.1.2. Photographies du plan dento-facial.....	28
2.1.1.3. Photographies du plan dentaire .....	30
2.1.2. Scan préopératoire des arcades complètes.....	34
<b>2.2. Digital Smile Design .....</b>	<b>34</b>
2.2.1. Analyse esthétique dento-faciale .....	35
2.2.2. Analyse esthétique gingivale .....	37
2.2.3. Analyse esthétique dentaire .....	38
<b>2.3. Mock-up numérique et validation du projet .....</b>	<b>42</b>
<b>2.4. Empreinte optique des préparations .....</b>	<b>45</b>
<b>2.5. Fabrication.....</b>	<b>48</b>
2.5.1. Chair-side ou assisted chair side.....	48
2.5.2. Choix du matériau de restauration.....	49
2.5.2.1. Les céramiques.....	49
2.5.2.2. Les blocs hybrides.....	54

<b>3. Discussion sur l'intérêt de la CFAO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1. Amélioration de la pratique .....</b>	<b>55</b>
3.1.1. Confort du geste .....	55
3.1.2. Aide au diagnostic .....	56
3.1.3. Communication .....	57
<b>3.2. Adaptabilité et précision des méthodes .....</b>	<b>58</b>
3.2.1. Empreinte optique .....	58
3.2.2. FAO soustractive .....	59
3.2.2.1. Précision .....	59
3.2.2.2. Matériaux .....	61
3.2.3. FAO additive .....	61
3.2.3.1. Précision .....	61
3.2.3.2. Matériaux .....	62
<b>3.3. Rendements .....</b>	<b>63</b>
3.3.1. Ergonomie .....	63
3.3.2. Temps .....	64
3.3.3. Coûts .....	65
 <b>CONCLUSION .....</b>	 <b>66</b>
 <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	 <b>I</b>

# **INTRODUCTION**

La constante évolution des mœurs de notre société a vu apparaître des exigences esthétiques de plus en plus strictes qui deviennent un sujet de préoccupation majeur dans notre pratique. Le chirurgien-dentiste se doit d'avoir à sa disposition un plateau technique lui permettant de mener à bien ses plans de traitement et de répondre au mieux à la demande de ses patients. La profession dentaire étant soumise au progrès, de nouveaux outils numériques ont vu le jour dans le but de d'améliorer la pratique quotidienne des praticiens, tant sur le plan fonctionnel qu'humain.

La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) et la Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) sont des technologies apparues dans les années 1960, d'abord dans le domaine de l'industrie automobile et aéronautique, puis se sont appliquées dans les professions médicales et particulièrement la dentisterie une décennie plus tard. Parmi les principaux acteurs qui ont contribué à son développement, on retrouve un Français, le Dr. François DURET, qui fut le premier à concevoir un système complet de Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) dentaire dès 1971. Il fera sa première démonstration lors du congrès international de l'Association des Dentistes de France de 1985, en fabriquant une couronne postérieure pour sa femme en moins d'une heure.

Malgré son jeune âge, la CFAO a connu un grand succès ces dernières années grâce à la recherche, la rendant toujours plus performante et rivalisant avec les techniques conventionnelles qui ont été au centre de notre pratique quotidienne durant des décennies.

Néanmoins, ce changement de méthode est-il compatible avec l'évolution permanente de la vision de notre profession ? Remplit-il les critères qui permettront de répondre au mieux aux attentes esthétiques et fonctionnelles des patients ?

Le travail de cette thèse sera d'étudier les nouveaux moyens techniques que la CFAO met à notre disposition, leur application dans une pratique esthétique et leur intérêt global.

# **1. Numérisation des méthodes : quels sont les outils à disposition ?**

De façon synthétique, les systèmes de CFAO dentaire sont composés d'un système d'acquisition de l'information (en 2D ou en 3D), d'un programme de CAO et d'une unité de FAO. Tous sont virtuellement connectés entre eux via le Digital Workflow.

## **1.1. Outils d'acquisition**

### **1.1.1. La photographie**

Dans le domaine de la dentisterie esthétique, la photographie est devenue un outil indispensable mais son utilisation peut néanmoins sembler complexe. Nous allons voir quels sont les équipements et paramètres nécessaires pour son application.

#### **1.1.1.1. Équipements de base**

L'appareil photographique est composé de quatre éléments (*Figure 1*) : le boîtier, le commandant, l'objectif et le flash, dont nous allons décrire les caractéristiques individuelles :



- Le boîtier :

C'est la partie tenue par l'opérateur. Il abrite les commandes et le capteur d'image. Dans le cadre de la dentisterie esthétique, le boîtier doit être de type Reflex avec comme caractéristiques minimales :

- La possibilité de photographier en mode manuel,
- De capturer des images d'au moins 10 mégapixels aux formats .RAW et .JPEG et
- D'accepter un flash externe ainsi qu'un objectif macroscopique.

Le capteur peut être en plein format ou recadré, mais ce dernier étant plus petit, il capturera moins d'information et subira plus de déformations.

- L'objectif :

En dentisterie esthétique, un objectif macroscopique est nécessaire. Ce type d'objectif est conçu spécialement pour la photographie en gros plans, pouvant capturer un niveau de détail quasi microscopique. Les caractéristiques de base requises pour notre pratique sont :

- La possibilité d'un réglage manuel (à contrario des objectifs à auto-focus strict)
- Des repères de grossissement clairement affichés
- Une plage focale de 90 à 105 mm

La distance focale d'un objectif (donnée en millimètres) est la distance entre la lentille de l'objectif et le capteur, lorsque l'élément photographié est mis au point (net). Pour nos besoins en photographie dentaire, un objectif avec une plage focale de 90 à 105 mm est idéal car il permet un champ de prise large allant d'une photo en portrait jusqu'à un gros plan sur une seule dent. Il permet aussi une distance de photographie avec le patient plus confortable.

- Le commandant :

Il permet de faire le lien entre le boîtier et les unités de flash (les boîtiers les plus récents peuvent fonctionner sans commandant). Il permet au praticien de choisir combien d'unités de flash seront déclenchés et leur puissance.



- Les unités de flash :

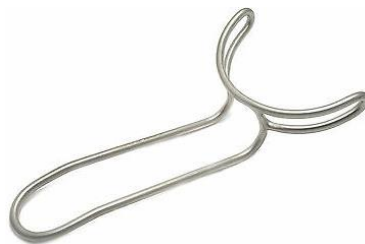
Une règle générale stipule que le meilleur éclairage doit être latéral et non direct depuis l'objectif (1). Le but est d'obtenir un éclairage uniforme et équilibré englobant le sujet de la photographie de façon similaire à ce que nous voyons dans la réalité. Les flashes directs intégrés au boîtier auront tendance à créer des zones d'ombres, notamment en vue rapprochée, effaçant des détails importants.

Une solution largement popularisée pour un éclairage homogène est l'utilisation d'un flash annulaire, avec lequel la lumière est émise tout autour de l'objectif. Bien que ce type de flash donne un éclairage uniforme, il a néanmoins tendance à donner des photographies avec un manque de volume et de profondeur. Il pourra s'avérer suffisant pour de la documentation mais pas pour la dentisterie esthétique, où les détails micro-esthétiques les plus infimes doivent être saisis. Une combinaison plus appropriée consiste à utiliser une unité à double flash sur supports extensibles, dans laquelle l'éclairage fourni sera plus polyvalent, latéralisé révélant ainsi plus de profondeur et de détails.

Le praticien devra par ailleurs se munir d'accessoires indispensables pour la réalisation des clichés : les rétracteurs, les miroirs et les contrasteurs.

- Les rétracteurs :

Ils éloignent les lèvres et les joues du patient, réduisent l'effet d'ombre et permettent aux flashes d'atteindre les parties les plus postérieures de la cavité orale (*Figure 2*).



*Figure 2 : Rétracteurs en acier  
Source : internet libre de droits*

- Les miroirs :

Ils ont essentiellement deux formes selon leur utilisation : des miroirs occlusaux larges et des miroirs intra-buccaux plus étroits (*Figure 3*). Ils sont soit en acier inoxydable hautement poli soit en verre. Ces derniers donnent des images plus nettes mais doivent être manipulés avec plus de précaution car ils se rayent facilement.



*Figure 3 : Miroir intra-oral en verre  
Source : internet libre de droits*

- Les contrasteurs :

Ce sont des surfaces noires métalliques ou caoutchoutées, maintenues derrière les dents pour donner une vue propre et épurée de la zone étudiée (*Figure 4*). Ils permettent entre autres de simuler l'obscurité du fond de la cavité orale et ainsi de mieux visualiser les effets de translucidité, de reliefs et autres nuances de l'émail. Cela est particulièrement important dans le cas où la restauration d'une seule dent est envisagée afin de correspondre au mieux avec les dents adjacentes.



*Figure 4 : Contrasteurs intra-oraux  
Source : internet libre de droits*

### 1.1.1.2. Paramètres de base

- Les positions des flashes :

Selon le type de plan, la dispersion de la lumière doit varier pour correspondre à l'étendue de la zone à photographier. Le clinicien doit connaître trois positions de référence (2) :

- La position rapprochée, qui n'est utilisée que pour les prises de vue occlusales maxillaire et mandibulaire. La puissance des flashes devra être réduite pour éviter le risque d'éblouissement (*Figure 5*).



Figure 5 : Position rapprochée des flashes  
Source : (1)

- La position 7-5, est utilisée pour la quasi-totalité des photos intra-orales. Les flashes seront positionnés environ 7cm sur les côtés de l'objectif et 5cm en arrière, selon un angle de 45° (*Figure 6*). Il n'est pas capital de régler les distances au centimètre près mais les flashes devront être les plus symétriques possible pour assurer un éclairage uniforme.



Figure 6 : Position 7-5 des flashes  
Source : (1)

- La position écartée, servira pour les photographies du visage entier. Le praticien étant plus éloigné du patient, les supports seront complètement étendus avec les flashes tournés vers l'avant et une intensité souvent élevée (Figure 7).



Figure 7 : Position éloignée des flashes  
Source : (1)

- Le grossissement (ou rapport de reproduction) :

Ce terme est utilisé pour décrire la taille sur le capteur de l'élément photographié par rapport à sa taille réelle. Si l'image sur le capteur est de la même taille que dans la réalité, le rapport de reproduction est de 1:1. Si l'image sur le capteur est deux fois plus grande, le rapport est de 2:1, tandis que si elle est deux fois plus petite, son rapport est de 1:2 (Figure 8). Les rapports de grossissement sont écrits sur la bague rotative de l'objectif.



Figure 8 : Représentation de différents rapports de reproduction  
Source : internet libre de droit

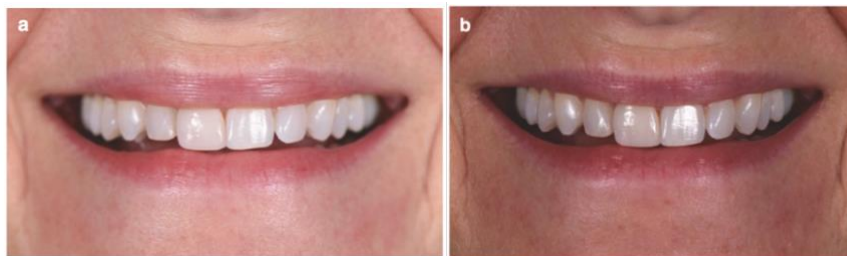
La plupart des prises de vue intra-orales ont un rapport de 1:2 à 1:3, selon la taille du capteur de l'appareil photo. Un gros plan sur deux incisives nécessiterait un rapport allant jusqu'à 1:1, tandis qu'un portrait serait pris à environ 1:10.

Les capteurs étant de tailles différentes, les chiffres mentionnés précédemment ne sont pas absolus. Le plus important sera de garder des paramètres identiques pour chaque photographie du même plan pour obtenir un maximum de cohérence entre elles et de pouvoir les superposer fidèlement lors de la planification numérique. C'est pourquoi lorsque le praticien a choisi le bon rapport de reproduction, il fera la mise au point en avançant ou reculant sans toucher la bague des rapports de l'objectif.

- L'ouverture (ou f-stop ou profondeur de champ) :

Le *f*-stop désigne la quantité de lumière qui passe à travers l'ouverture de l'objectif et atteint le capteur. Elle est réglée par un diaphragme métallique. Plus le *f*-stop est élevé, plus l'ouverture est petite et plus la quantité de lumière reçue par le capteur sera faible. Trouver l'ouverture appropriée est un exercice d'équilibre car au fur et à mesure que le capteur est exposé à la lumière, la profondeur de champ diminue.

La profondeur de champ représente l'étendue de la plage nette sur la photographie. En dentisterie esthétique, il faut que tous les plans soient nets pour avoir un maximum de détails, donc une grande profondeur de champ. Le plus souvent, un *f*-stop d'environ 32 sera adapté pour l'ensemble des photos intra-orales tandis qu'un *f*-stop de 9 sera plus approprié pour les portraits (Figure 9).



**Figure 9 :** (a) Photo prise avec un *f*/20 : elle paraît plus exposée mais seules les incisives centrales sont nettes. (b) Photo prise avec un *f*/32 : elle paraît moins exposée mais plus de dents sont nettes  
Source : (1)

- La vitesse d'obturation :

Exprimée en fraction de secondes, elle correspond à la durée pendant laquelle le capteur est exposé à la lumière. Plus cette durée sera longue, plus la quantité totale de lumière captée sera grande mais entraînera un plus grand effet de flou à cause des mouvements ambiants, même légers. Nos mains ainsi que nos patients auront toujours un léger mouvement lors de la prise. L'utilisation d'un trépied en photographie dentaire n'est pas indispensable mais peut être envisagé.

Il est conseillé de régler la vitesse d'obturation sur un mode rapide (par exemple : 1/125<sup>e</sup> de seconde). Ce paramètre sera enregistré une seule fois pour ne plus jamais être modifié.

- La sensibilité ISO :

Terme utilisé pour décrire la sensibilité du capteur à la lumière. Une ISO élevée augmente la sensibilité de ce dernier et permet d'avoir une image avec une bonne exposition en condition de faible luminosité. En contrepartie, elle entrainera l'apparition d'un « bruit » ou de grain sur l'image, perdant ainsi en précision. L'apport de lumière pouvant être compensé grâce aux flashes, l'ISO sera réglé sur sa valeur la plus basse possible afin de réduire le grain au maximum. En règle générale, il est recommandé d'avoir une ISO de 100 pour les CANON® et une ISO de 200 pour les NIKON®. Comme pour la vitesse d'obturation, une fois enregistré, ce paramètre ne sera plus modifié par la suite.

- La balance des blancs (ou température de couleur) :

C'est un paramètre soumis à la critique surtout dans le domaine de la dentisterie esthétique, où la retranscription de la couleur est primordiale. Une photo avec une température de couleur « plus chaude » apparaîtra plus jaune tandis qu'une température plus froide donnera un aspect plus bleuté (*Figure 10*).

La température de couleur appropriée est aux alentours des 5560K (Kelvin) (3) : elle correspond à la température de la lumière d'une journée ensoleillée à midi. Le praticien doit toujours comparer la température des photos à la couleur réelle. Les dents apparaissent-elles sur les photos aussi jaunes ou blanches que dans la réalité ?



Figure 10 : (a) Température de couleur chaude, les dents ressortent plus jaunes que la réalité. (b) Température de couleur neutre. (c) Température de couleur froide, les dents ressortent plus bleues que la réalité  
Source : (1)

- L'angulation :

Il est essentiel que l'objectif soit orienté à 90° par rapport au patient pour donner une représentation exacte du sourire (*Figure 11*). Toute planification de traitement, y compris en numérique, utilisera des lignes de référence qui seront tracées à même les photographies et serviront de base à la conceptualisation, d'où la nécessité que toutes les photographies soient prise avec l'angulation appropriée (4).



*Figure 11 :* (a) Photo prise en contre-bas. (b) Photo prise à 90°. (c) Photo prise en contre-haut.  
*Source :* (1)

### 1.1.2. L'empreinte optique

Depuis le 18e siècle, des techniques conventionnelles d'empreinte à l'aide de matériaux physico-chimiques (silicone, alginate etc...) sont utilisées pour enregistrer la géométrie tridimensionnelle des tissus dentaires. Elles sont particulièrement sujettes aux variations volumétriques, source d'erreurs qui peuvent compromettre la qualité finale du traitement. Leur réalisation est particulièrement sensible à la dextérité du praticien et peut nécessiter dans certains cas l'aide d'une autre personne. C'est pour surmonter ces inconvénients que les Scanners Optiques Intra-oraux (SOI) ont été développés, en proposant un système précis et facile d'utilisation pour tous. La dernière décennie a vu apparaître un nombre croissant de SOI avec des technologies différentes ayant une incidence sur leur utilisation clinique (5).



*Figures 12 :* Scanner optique intra-oral 3M™ True Definition Scanner avec son moniteur sur roulette.  
*Source :* internet libre de droit

Les SOI sont des dispositifs électriques médicaux de classe I, conçus et construits conformément aux normes ANSI/IEC 60601-1. Ils sont composés d'un boîtier intra-oral manuporté abritant une caméra et d'un logiciel de modélisation de l'empreinte, à télécharger sur son poste de travail ou fourni avec un moniteur (6)(Figure 12). Leur but est d'enregistrer le volume tridimensionnel d'un élément sous la forme d'une succession de surfaces triangulées dont chacune est définie par trois points (X, Y, Z) appelés « points d'intérêt »(7)(Figure 13). Le principe pour déterminer les coordonnées de ces points est globalement le même : un émetteur projette une lumière sur la cible dont la déformation renvoyée sera enregistrée sur un capteur. Le logiciel calculera ensuite les coordonnées de chaque point d'intérêt issu de la déformation sur la base d'algorithmes propres à chaque fabricant.

Plusieurs dizaines voire centaines de milliers de points de surface sont enregistrés par  $\text{cm}^2$ , permettant une reconstruction fidèle en 3D de la surface (7,8).

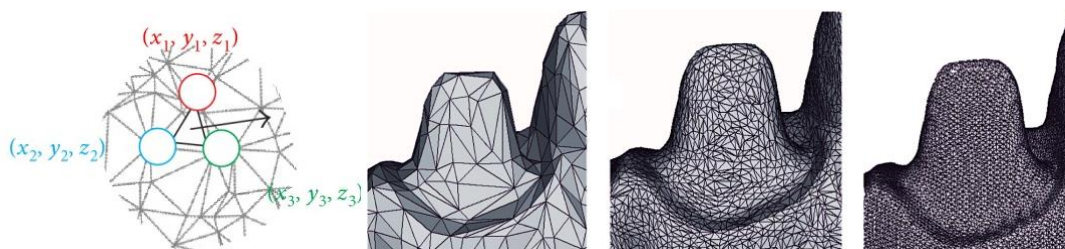


Figure 13 : Représentation géométrique des points de surfaces enregistrés par l'empreinte optique  
Source : (7,8)

#### 1.1.2.1. Technologies de capture

La différence entre les technologies réside dans la façon dont la distance entre le point d'intérêt et le capteur est mesurée. Parmi toutes les technologies disponibles sur le marché, quatre sont majoritairement utilisées et peuvent être séparées en deux catégories :

- L'acquisition par imagerie avec la triangulation active et l'imagerie confocale parallèle
- L'acquisition par vidéo (ou « balayage rapide ») pour l'Active Wavefront Sampling (AWS) et la stéréophotogrammétrie.

Les derniers systèmes privilégient l'acquisition vidéo car son utilisation est plus rapide et plus facile que l'acquisition par imagerie, qui nécessite une stabilité plus contraignante pour l'utilisateur. En contrepartie, les fichiers vidéo sont beaucoup plus lourds et nécessitent plus de puissance de calcul.



- La triangulation active :

Elle se base sur le principe du théorème de Pythagore (9) selon lequel la distance entre le capteur et un point d'intérêt peut être déduite en mesurant l'angle du faisceau de lumière réfléchi, l'angle d'émission du faisceau lumineux et la distance entre l'émetteur et le capteur étant fixes et connus (Figure 14).

(Ex : CEREC Omnicam de chez Sirona®, CS3500 de chez Carestream®)

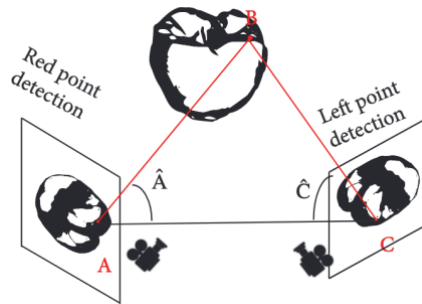


Figure 14 : Schéma du principe de la triangulation active  
Source : (7)

- L'imagerie confocale parallèle :

Dans cette technologie, le capteur est positionné en arrière d'une micro-lentille filtrante. Celle-ci ne laissera passer que les faisceaux réfléchis à la bonne distance focale du capteur. Ainsi, seuls les faisceaux parfaitement focalisés, donc nets, seront enregistrés, éliminant un maximum de déformation (Figure 15). Cette méthode est particulièrement sensible à la dextérité de l'opérateur qui peut facilement générer un flou de mouvement s'il ne garde pas un déplacement constant et régulier de la caméra (10). De plus, cette technique nécessite une grande optique qui peut s'avérer contraignante en cas de manque de place.

(Ex : TRIOS 3Color de chez 3Shape®, iTero Element de chez Align®)

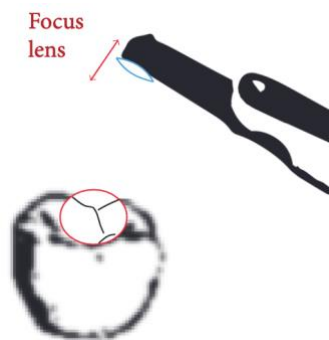
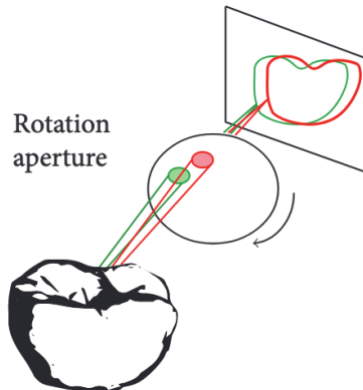


Figure 15 : Schéma du principe de l'imagerie confocale parallèle  
Source : (7)

- L'active Wavefront Sampling (AWS) :

Cette technique requiert une caméra et une lentille rotative. Pour chaque point d'intérêt, la rotation de la lentille forme un motif avec le faisceau de lumière qui la traverse (*Figure 16*). La caméra enregistre en continu les différents motifs et le logiciel calculera les distances en fonction de la fréquence de rotation de la lentille

(Ex : *Lava-COS* de chez *3M-Espe*<sup>®</sup>)

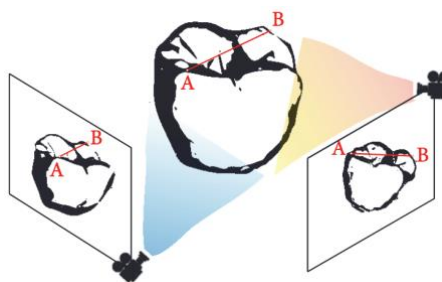


*Figure 16* : Schéma du principe de l'AWS  
Source : (7)

- La stéréophotogrammétrie :

Elle utilise deux caméras qui vont enregistrer la cible sous deux angles différents. Les algorithmes vont calculer les différences entre les coordonnées de ces deux perspectives pour un même point d'intérêt pour en déduire la distance (*Figure 17*).

(Ex : *CondorScan* de chez *Biotech*<sup>®</sup>, *Aadva IOS* de chez *GC*<sup>®</sup>)



*Figure 17* : Schéma du principe de la stéréophotogrammétrie  
Source : (7)

Un critère important à prendre en compte lors de l'achat d'une caméra optique est sa compatibilité avec les systèmes de CAO et de FAO. Certains de ces scans ont comme seule utilisation la réalisation de l'empreinte optique (*ex : LAVA COS de chez 3M®*), tandis que d'autres intègrent un logiciel de CAO (*ex : CEREC AC de chez Sirona®, E4D Dentist de chez D4D Technologies®*) et peuvent être combinés avec une unité de FAO (*ex : InLab MCXL de chez Sirona®*).

Quelle que soit la technologie employée, une des principales sources d'erreur lors de l'enregistrement est la surexposition du capteur par les surfaces très réfléchissantes. Pour cela, les fabricants peuvent recommander l'application d'une poudre de contraste opaque avant le processus de numérisation pour réduire la réflectivité (6).

#### 1.1.2.2. Poudre de contraste

Son usage peut s'avérer relativement inconfortable pour les patients et rallonge le temps de balayage surtout si la poudre est contaminée par les fluides, ce qui nécessite alors un nettoyage puis une réapplication. De plus, si la couche est trop épaisse, elle pourra entraîner des déformations exacerbées de la lumière reçue, faussant les données enregistrées. Une étude de 2013 a démontré que les SOI les plus récents, dits « powder-free » (sans poudre), ont le même niveau de précision que ceux nécessitant un poudrage sur toute la surface enregistrée (11). Les praticiens peuvent limiter la réflexion en modifiant l'orientation de la caméra ou en utilisant un filtre polarisant. Néanmoins, s'ils n'arrivent pas à enregistrer une zone particulièrement réfléchissante (telle que des couronnes en métal), ils peuvent effectuer un léger poudrage de celle-ci.

## 1.2. Outils de conception assistée par ordinateur

Une fois l'acquisition du volume tridimensionnel réalisée, le praticien ou le prothésiste peut procéder au traitement de l'information et travailler à la conception du projet esthétique depuis les fichiers enregistrés. Cette conception, qu'elle soit en 2D depuis les photographies ou en 3D via les empreintes optiques, joue le rôle d'un wax-up numérique sur lequel la situation initiale sera étudiée et le projet modélisé.

### 1.2.1. Conception en 2D

Une fois le dossier photographique établi, le praticien s'en servira pour l'analyse du sourire initial en tenant compte à la fois du visage et de la dentition (12). Toutes les informations seront renseignées de manière objective et standardisée tout en prenant en compte les facteurs d'insatisfaction et de préoccupation du patient.

Au cours de ces dernières années, plusieurs logiciels polyvalents de conception numérique du sourire en 2D, appelés « Digital Smile Design » ou DSD, ont été introduits dans notre pratique.

Une étude comparative, réalisée par Omar et Duarte, a classé les principaux programmes disponibles selon leur capacité à analyser un sourire, sur la base de 20 critères esthétiques (*Tableau 1*). Photoshop® s'est avéré être le logiciel le plus complet suivi de Keynote®(13).

**Table 4** Total score of facial, dentogingival and dental analysis features found in the analyzed DSD programs.

Software	Score out of 20
Photoshop CS6	20
Keynote	19
Aesthetic Digital Smile Design	18
Cerec 4.2 software	13
DSD App by Coachman	10
Smile Designer Pro	10
VisagiSMile	10
Planmeca Romexis Smile Design	10

Tableau 1 : Score final des différents logiciels de DSD  
Source : (14)

Bien que complets et largement utilisés dans la littérature scientifique, ces deux programmes n'ont pas été créés spécifiquement pour une utilisation en tant que DSD. Leur interface n'est donc pas conçue de façon ergonomique pour la documentation des fichiers patients et la conception de sourires numériques. Leur prise en main peut s'avérer plus compliquée qu'avec les autres logiciels pour un praticien qui n'a pas la fibre informatique et peut nécessiter des formations supplémentaires. Certains praticiens diront également que ces logiciels sont « trop » complets et complexifient l'analyse. Par ailleurs, ces deux logiciels ne peuvent permettre qu'une analyse en 2D du sourire.

Les autres programmes sont quant à eux, développés spécifiquement pour le domaine dentaire. Les logiciels CEREC SW<sup>®</sup>, DSD App<sup>®</sup> et PRSD<sup>®</sup> peuvent réaliser une CAO en 2D ou en 3D et être couplés conjointement avec la FAO (*Tableau 2*). VisagiSmile<sup>®</sup> et DSD App<sup>®</sup> partagent un concept nouveau : le visagisme, introduit par le Dr. Braulio Paolucci (14). Ce concept suggère que le tempérament de la personne doit être pris en compte dans la conception de son nouveau sourire.

**Table 5** Additional features found in computer programs used for DSD.

Feature	Photoshop CS6	Keynote	ADSD	Cerec SW 4.2	DSD App	SDP	Visagi-SMile	PRSD
Teeth grids	X <sup>a</sup>	X <sup>a</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3D design	X	X	X	✓	✓	X	X	✓
CAD/CAM	X	X	X	✓	X <sup>b</sup>	X	X	✓
Patient Interface	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mobile app	X	X	X	X	✓	✓	X	X

<sup>a</sup> Teeth grids have to be prepared and saved by the user prior to clinical application.  
<sup>b</sup> Announced for 2017.

*Tableau 2 : Options additionnelles des différents logiciels de DSD  
Source : (14)*

Tous les programmes de DSD sur le marché n’offrent pas les mêmes compétences pour une analyse complète des paramètres esthétiques dentofaciaux. D’autres facteurs sont aussi à prendre en compte dans le choix de l’utilisateur : la facilité et le temps d’utilisation, la capacité de documentation des cas, le coût et la compatibilité du programme avec la CAO/FAO.

### 1.2.2. Conception en 3D

Ce type de conception se base sur le rendu en 3D de l’empreinte numérique. Elle sert à la fois à la planification du nouveau sourire comme pour la conception en 2D, mais aussi à la modélisation de la restauration pour sa fabrication par une unité de FAO.

Un paramètre important à prendre en compte dans l’achat d’un outil de CFAO est le type d’architecture du logiciel pour la transmission des données. En effet, il existe à ce jour une grande variété de constructeurs dont certains ont un format de fichier propriétaire qui ne pas être partagé sur les supports d’un autre fabricant. Lorsqu’un praticien envisage une transition numérique, il doit s’assurer au préalable que l’architecture de son futur matériel soit compatible avec celle des autres intervenants, en particulier le prothésiste, avec lesquels il travaille (15).

### 1.2.2.1. Type d'architecture

Il existe trois types d'architecture ayant chacune un degré différent de partage des fichiers (16) :

- L'architecture ouverte :

Les fichiers sont enregistrés dans un format universel, le plus souvent en .STL pour « Standard Tessellation Language ». Ce format peut être lu et partagé par les dispositifs des autres fabricants qui le prennent en charge (17). Le praticien pourra communiquer plus facilement ses informations aux différents intervenants et utiliser des dispositifs de CFAO ayant le même type d'architecture, même s'ils sont de marques différentes.

- L'architecture semi-ouverte :

Elle permet à un système de ne recevoir qu'un certain type de données tierces pour compléter ses propres données. Par exemple, une empreinte optique pourra être couplée avec un Cone Beam ou des photographies issues d'un autre logiciel de CAO, pour avoir plus de détails lors de la planification.

- L'architecture fermée :

Les fichiers sont enregistrés dans un format propriétaire du constructeur et seules les données issues des systèmes du même constructeur pourront être lues sans pouvoir être partagées avec les autres (18). L'argument principal de cette architecture serait une meilleure ergonomie et une plus grande rapidité de traitement de l'information. Le système est conçu pour un seul type de fichier, ce qui limite le risque d'erreur lié à la conversion d'un format différent. Cependant, cette fermeture est tellement un frein dans la transmission des données que de plus en plus de systèmes se tournent vers une architecture ouverte.

Selon une étude comparative de 2020, l'utilisation d'un logiciel de CAO avec son scanner optique officiel présente de meilleurs résultats qu'avec celui d'une autre marque. De plus, l'utilisation d'un système ouvert avec une lecture sans conversion des fichiers propriétaires est recommandée car une perte d'informations non négligeable a été constatée lors du processus de conversion (19).

### 1.2.2.2. Technologie de conception

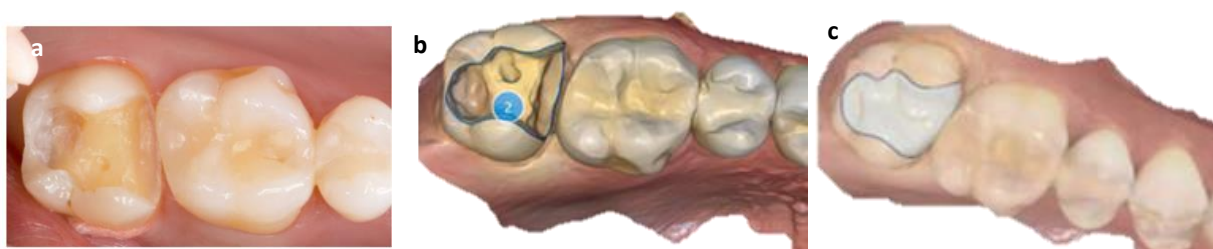
Le logiciel guide le clinicien étape par étape lors de la modélisation de la nouvelle restauration. Une fois le modèle numérique développé par le logiciel à partir de l’empreinte optique, les limites marginales de la préparation sont déterminées automatiquement (si elles sont suffisamment lisibles) ou tracées manuellement par l’opérateur (*Figure 18*). Le matériau et le type de restauration prévus (facette, inlay/onlay/overlay, couronne, bridge, etc...) sont également sélectionnés. Enfin, l’opérateur peut choisir entre trois modes de conception (20):

- Conception par bioréférence : elle intègre les caractéristiques anatomiques de la dent controlatérale correspondante, si elle est présente.
- Conception par biocopie : elle reproduit l’anatomie de la dent avant la préparation grâce à une empreinte préopératoire, afin de garder une esthétique et une fonction inchangées.
- Conception par biogénérique : elle lit la morphologie de la dentition du patient pour prédire la bonne forme et la bonne fonction.

Une fois toutes les informations enregistrées par l’opérateur, le logiciel génère un modèle virtuel de la restauration. Plusieurs outils intégrés au programme permettent d’effectuer toutes les retouches nécessaires pour que la restauration corresponde au mieux au projet planifié en amont. L’opérateur pourra modifier la restauration en elle-même (sa position, sa forme, son axe...) ainsi que sa relation avec les dents voisines (contacts proximaux et occlusaux).

Lorsque la conception virtuelle de la prothèse est terminée, les informations sont envoyées à l’unité de FAO pour son usinage.

Certains outils de conception en 3D peuvent intégrer les informations issues d’une planification en 2D afin d’aider l’opérateur lors de la modélisation des prothèses. Soit les logiciels ont nativement des outils de conception en 2D et 3D, soit les photographies, qui ont servi à la planification, sont importées et superposées au modèle numérique 3D pour servir de calque.



**Figure 18 :** (a) Cas clinique d'onlay sur 17. (b) Délimitation des limites marginales de la préparation. (c) Modélisation de la restauration.

Source : (21)

### 1.2.2.3. Articulateur virtuel

Certains programmes ont aussi la possibilité de paramétrer un articulateur virtuel si la situation clinique nécessite une analyse occlusale et articulaire (21). La programmation de cet articulateur peut se faire suivant deux méthodes :

- La première se fait de façon conventionnelle en utilisant un arc facial et un articulateur classiques. La relation intermaxillaire enregistrée sur l'articulateur sera par la suite convertie numériquement grâce à un scanner externe (*Figure 19*)
- La seconde utilise un arc facial numérique sous la forme de capteurs extra et intra-oraux positionnés sur les repères anatomiques du patient (*Figure 20*). Ces capteurs définiront un ensemble de coordonnées crâniennes et maxillaires qui seront mises en relation avec les scans des arcades complètes (22).

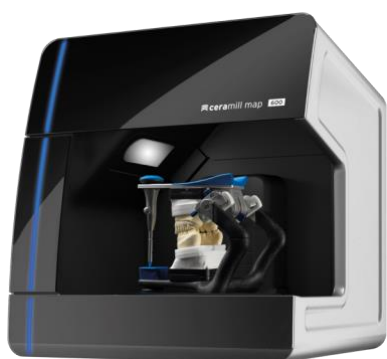


Figure 19 : Scanner d'articulateur CERAMILL MAP 600  
Source : <https://www.amangirrbach.com>

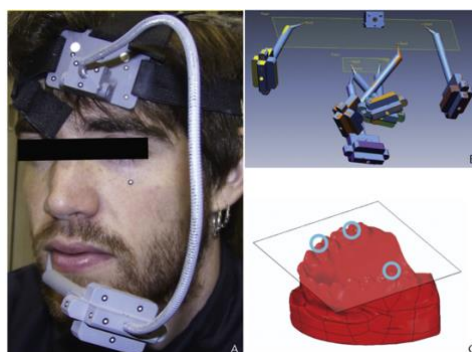


Figure 20 : Arc facial numérique  
Source : (23)



### 1.3. Outils de fabrication assistée par ordinateur

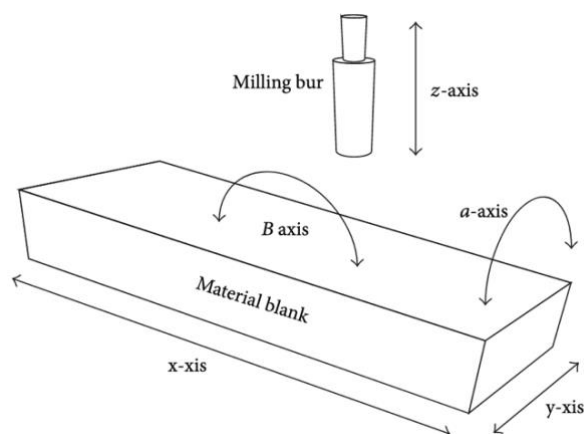
Une fois la CAO terminée, les données numériques sont transférées vers une unité de FAO pour la production de la prothèse. L'objectif de la FAO est de produire une restauration avec un ajustement précis à la préparation périphérique et une morphologie naturelle telle que modélisée par le logiciel de CAO (23). Il existe aujourd'hui deux méthodes de FAO : la fabrication soustractive et la fabrication additive.

#### 1.3.1. La fabrication soustractive

La FAO soustractive est basée sur le fraisage de la restauration par une machine commandée numériquement à partir d'un bloc de taille supérieure dans le matériau choisi. Le logiciel de l'unité de FAO traduit automatiquement le modèle issu de la CAO en une série de mouvements pour chacune des fraises de la machine (23)(24).

##### 1.3.1.1. Nombre d'axes de coupe

La principale différence entre les unités de FAO soustractives est le nombre d'axes (trois, quatre ou cinq) sur lesquels les fraises peuvent se déplacer lors de la coupe (*Figure 21*)(23).



*Figure 21* : Schéma représentant les 5 axes d'usinages  
Source : (26)

- Les unités à 3 axes :

Les fraises se déplacent suivant les trois axes (X) (Y) et (Z). Le fraisage à 3 axes a l'avantage d'avoir un temps de calcul et d'usinage réduits. Cependant, ces seuls axes ne permettent pas de tailler selon des plans divergents et/ou convergents, ni de recréer des détails anatomiques fins à moins que le bloc soit repositionné manuellement (23). Les restaurations complexes et/ou de grandes étendues ne pourront pas être usinées avec ces unités. Leur usage se limite à des facettes, inlays/onlays ou des couronnes unitaires (25).

- Les unités à 4 axes :

Le quatrième axe est une rotation de 180° du bloc usiné selon l'axe (A). Cet axe supplémentaire rend possible le fraisage des faces externes et internes sans intervention extérieure, des plans divergents et convergents ainsi que des détails anatomiques plus fins. Il est souvent possible d'ajouter un deuxième jeu de fraises dans la même machine pour réduire le temps de coupe. Elle permet la fabrication de la quasi-totalité des pièces unitaires simples ou complexes, sans intervention extérieure, mais ne peut pas usiner des pièces de grande étendue telles que les bridges.

- Les unités à 5 axes :

Le cinquième axe est une de rotation autour de l'axe (B) du bras soutenant le bloc usiné ou de la fraise. Ces unités peuvent réaliser des géométries très complexes et des surfaces externes particulièrement lisses grâce à un mouvement tangentiel de la fraise. Elles sont plus destinées à un usage en laboratoire de prothèse qu'en cabinet du fait de leur capacité à usiner plusieurs pièces simultanément et à pouvoir réaliser des restaurations de grande étendue (26)(27).

### 1.3.1.2. Méthodes de fraisage

Selon le type de matériau usiné, deux méthodes de fraisage sont possibles :

- L'usinage dur ou « Hard-milling » :

Cet usinage concerne les matériaux à haute dureté tels que le métal ou la zircone densément frittée. Les forces de coupe appliquées sont lourdes générant une forte chaleur qui peut altérer l'unité de FAO ainsi que la restauration (en particulier si celle-ci est faite dans un matériau à faible conductivité thermique comme le titane ou la zircone). Un refroidissement constant par irrigation d'eau déminéralisée est nécessaire (28).

De plus, ces forces peuvent provoquer des dommages irréremédiables sur la restauration entraînant un défaut d'adaptation de celle-ci (29). Pour compenser, l'usinage dur est souvent réalisé en deux étapes : un premier cycle de coupe brute est effectué à une fréquence de taille faible et une force de coupe élevée pour enlever une majorité de matériau en laissant un excès de 0.3mm sur toutes les faces de la restauration. Ensuite, un deuxième cycle de coupe fine avec une fréquence plus élevée et une force de coupe faible enlèvera l'épaisseur restante pour donner à la restauration son volume final.

- L'usinage doux ou « soft-milling » :

Les matériaux de cette catégorie sont sous une forme pré-frittée, les rendant moins durs et donc plus facilement usinables. Ils subiront par la suite une étape de cuisson afin d'acquérir leurs propriétés mécaniques et esthétique finales. Cette approche présente comme avantages un fraisage plus rapide et une réduction des forces de coupe. Cela permet d'augmenter la durée de vie de l'outil et d'améliorer potentiellement la qualité de l'état de surface de la prothèse (30).

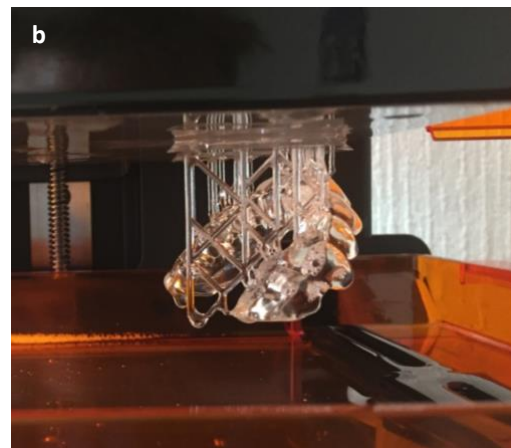
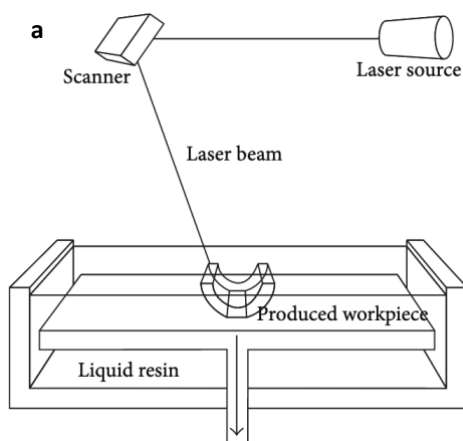
### 1.3.2. La fabrication additive

La FAO additive est basée sur un processus d'assemblage par la fusion successive de couches de matériau liquide ou poudreux après segmentation de l'objet usiné par le logiciel (31). Cette méthode a été introduite plus récemment que la FAO soustractive dans le domaine de la dentisterie et son application s'oriente surtout vers la fabrication de modèles de travail, de guides chirurgicaux ou d'armatures de prothèses. Ces machines, également commandées numériquement, sont composées de deux éléments : une tête travaillante chargée de déposer les couches de matériau suivant les axes (X), (Z) et (Y) et d'une plateforme de travail, fixe ou mobile, sur laquelle les couches sont déposées (32). Ses avantages sont la répétabilité des fabrications, le temps de production réduit ainsi que la reproduction facile et passive (sans application de force) de gros volumes à géométries complexes sans perte de matière (contrairement à la technologie soustractive)(26).

Parmi les technologies de FAO additive on retrouve :

- La stéréolithographie :

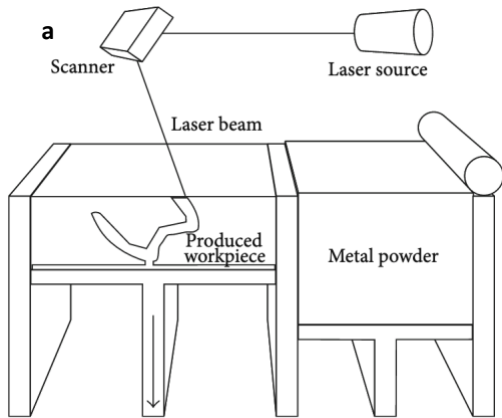
Elle consiste en l'ajout de couches successives depuis un bain liquide de monomères photosensibles solidifiés à l'aide d'un faisceau de lumière UV. Lorsque la première couche est polymérisée, la plateforme s'abaisse de quelques micromètres, le faisceau prend la forme de la couche suivante et durcit la partie du bain éclairée par le motif (*Figure 22*). Une fois l'élément fini, il sera rincé avec un solvant puis placé dans un four à UV pour compléter la polymérisation. Cette méthode est souvent utilisée en dentisterie pour la production d'objets en résine tels que des guides chirurgicaux, des modèles de travail ou des gouttières occlusales (33).



Figures 22 : (a) Schéma de la stéréolithographie. (b) Fabrication par stéréolithographie d'une gouttière occlusale  
Source a : (26) / Source b : Internet libre de droits

- Addition par fusion ou frittage sélectif au laser :

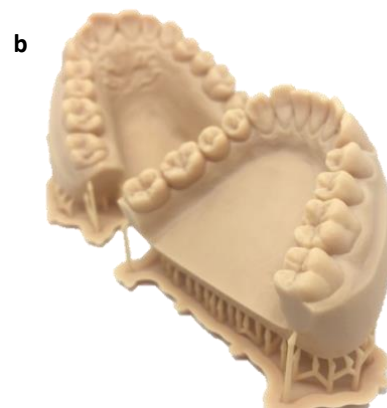
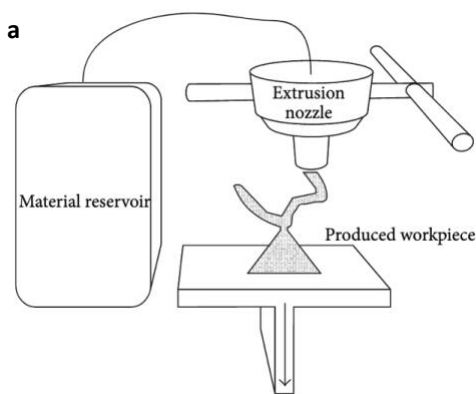
Elle est basée sur le frittage ou la fusion d'une poudre, couche par couche, à l'aide d'un faisceau laser. Ce faisceau augmente localement la température sur la plateforme légèrement en dessous du point de fusion du matériau usiné. Une couche de matériau est ensuite déposée et figée par un cylindre roulant sur la plateforme de travail (*Figure 23*). L'addition par frittage sélectif est plus utilisée pour la céramique et les polymères tandis que la fusion sélective le sera pour le métal (34).



Figures 23 : (a) Schéma de l'addition par fusion ou frittage sélectif au laser. (b) Armatures en métal usinées par addition par fusion ou frittage sélectif au laser.  
Source a : (26) / Source b : Internet libre de droits

- L'impression 3D :

La tête travaillante contient une buse chauffante qui extrude de façon alternée le matériau qui se solidifie au contact de la plateforme (*Figure 24*). Seuls les matériaux thermoplastiques tels que les cires, les résines ou les céramiques coulables peuvent être utilisés avec cette méthode. Elle est indiquée pour la fabrication de modèles de travail ou de guides chirurgicaux (35) et se distingue des autres méthodes par sa capacité à imprimer plusieurs matériaux à la fois.



Figures 24 : (a) Schéma de l'addition par impression 3D. (b) Modèles de travail usinés par impression 3D  
Source a : (26) / Source b : Internet libre de droits

## **2. Application des outils numériques tout au long du plan de traitement**

### **2.1. Acquisition des données préopératoires**

#### **2.1.1. Photographies préopératoires**

Le dossier photographique constitue la première étape de tout plan de traitement esthétique, même s'il n'implique qu'une seule dent (36). Il permettra l'analyse de la situation initiale et servira également de support pour la planification du nouveau sourire. Il doit inclure trois types de plans dont chacun révélera des détails qui lui sont propres : le plan facial (visage entier), le plan dento-facial et le plan dentaire.

##### **2.1.1.1. Photographies du plan facial**

Cet ensemble nous communique des informations relatives à l'harmonie entre le sourire, les traits caractéristiques du visage du patient et l'horizon. Le patient est invité à faire face à l'appareil photo (à l'exception de la vue de profil), les cheveux attachés et derrière les oreilles, la tête droite en posture naturelle. L'appareil photo, comme dans toutes les photographies, doit être tenu horizontalement et autant que possible à 90° par rapport au sujet. Pour cette raison, si le patient et le praticien n'ont pas la même taille, les deux devront être assis afin que la caméra soit positionnée à l'angle approprié.

Pour cet ensemble de photographies, les paramètres suivants resteront inchangés :

- Ouverture  $f/9$
- Grossissement : 1:10
- Position des flashes : éloignés

- Visage complet lèvres jointes :

Le patient est invité à ne pas sourire et à garder les lèvres jointes (*Figure 25*). Cette vue nous permet d'évaluer la symétrie des traits du visage lorsqu'il n'y a aucune contraction musculaire au niveau des yeux ou de la bouche.

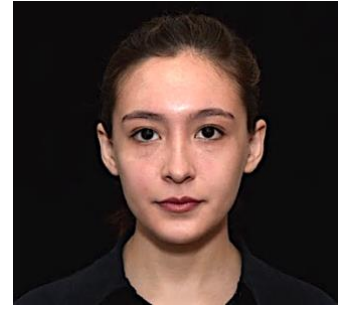


Figure 25 : Photo visage complet  
lèvres jointes  
Source : (1)

- Visage complet, sourire naturel :

Le but de cette photo est de capturer un sourire naturel non exagéré et de relier le sourire à l'horizon ainsi qu'aux caractéristiques faciales (*Figure 26*). Elle nous montre comment la ligne médiane dentaire se marie avec la ligne médiane du visage, l'inclinaison du plan dentaire par rapport au visage s'il y en a une, le nombre de dents affichées dans le sourire et le degré d'espace des couloirs buccaux.



Figure 26 : Photo visage complet  
sourire naturel  
Source : (1)

- Visage complet, sourire forcé (appelé sourire de Duchenne) :

Cette photo permet d'évaluer la mobilité des lèvres (37). En demandant au patient de forcer son sourire (*Figure 27*), il est possible de voir jusqu'à quelle hauteur les lèvres peuvent aller (comme lors d'un rire) et si les niveaux gingivaux doivent être pris en compte. Généralement, un sourire naturel lors d'une séance photo exposera moins de gencives qu'un sourire « vraiment » naturel, c'est pourquoi il est nécessaire de demander au patient de franchement forcer son sourire.



Figure 27 : Photo visage complet  
sourire de Duchenne  
Source : (1)

- Visage complet avec rétracteurs :

Le patient doit être en légère désinclusion pour que les formes des bords incisifs puissent être lus (*Figure 28*). Cette photo permet de relier le plan incisif et les niveaux gingivaux à l'horizon et aux lignes de références faciales en la superposant aux photographies du visage complet sans rétracteurs. Il est donc impératif pour une bonne fidélité de superposition que les paramètres, l'angulation et la position de la tête du patient restent les mêmes. Ce cliché peut également servir pour la calibration d'un « arc facial numérique » (38).



*Figure 28* : Photo visage complet avec rétracteurs  
Source : (1)

- Visage complet en sourire avec désinclusion :

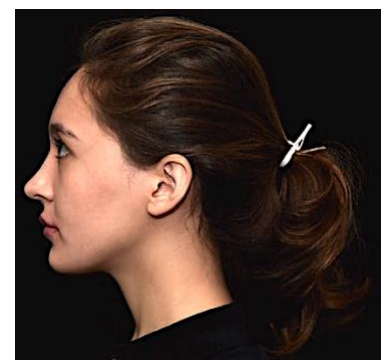
Il est demandé au sujet d'enlever les rétracteurs en douceur sans bouger la tête. Le sourire en désinclusion peut sembler moins naturel pour le patient, mais il permet de mettre en relation les bords incisifs maxillaires et mandibulaires (*Figure 29*).



*Figure 29* : Photo visage complet sourire en désinclusion  
Source : (1)

- Profil détendu :

En gardant les cheveux derrière l'oreille et en regardant droit devant, le patient doit tourner tout son corps sur le côté tout en gardant les lèvres jointes (*Figure 30*). Cette vue nous permet d'évaluer si le profil est convexe ou concave ainsi que le soutien des lèvres (36).



*Figure 30* : Photo profil détendu  
Source : (1)



- Vue à 12 heures :

Cette photo permet de localiser les bords des six dents maxillaires antérieures et de les situer par rapport à la ligne humide/sèche de la lèvre. Lors de la conception numérique, cette photo montre au prothésiste les dents qui doivent être épaissies.

Le patient est assis sur le fauteuil, penché en arrière et la caméra positionnée derrière la tête de façon à capturer les bords des six dents antérieures maxillaires pendant un sourire complet (*Figure 31*). Il est important que les yeux soient inclus dans cette vue, car ils serviront de repère pour la superposition des photos précédentes.



*Figure 31* : Photo vue à 12 heures  
Source : (1)

C'est la seule vue faciale où les paramètres seront changés. Ils seront conservés pour la prochaine série de photos du plan dento-facial :

- Ouverture *f*-32
- Grossissement : 1:3
- Position des flashes : 7-5

#### 2.1.1.2. Photographies du plan dento-facial

Cette série montre la façon dont les lèvres englobent les dents au repos et lors d'un sourire complet, la hauteur du sourire et la quantité de dents affichées. Le patient peut être debout ou assis sur le fauteuil dentaire.

Les paramètres appliqués demeurent inchangés dans ce type de photographies :

- Ouverture *f*-32
- Grossissement : 1:3
- Position des flashes : 7-5

- Lèvres au repos :

Également connue sous le nom de photo «Emma», cette photographie est utilisée pour évaluer le degré d'exposition du bord des incisives centrales maxillaires au repos, point de départ dans la conception du projet esthétique (36). Superposée à la photo du sourire forcé, elle renseigne également sur la mobilité des lèvres du patient (39).

Le patient est invité à prononcer le mot «Emma» et à geler les lèvres sans activité musculaire (*Figure 32*).



*Figure 32 :* Photo lèvres au repos  
Source : (1)

- Sourire naturel :

Cette photographie montre le nombre de dents exposées, les couloirs buccaux, l'exposition gingivale et les zéniths gingivaux, les courbes gingivale et incisive du sourire, les embrasures, les points de contact, la position des papilles et les inclinaisons axiales des dents. Cette vue offre plus de détails sur les jeux d'ombre, moins retranscrits par le plan facial.

Cette photo doit être prise avec les dents en occlusion pour observer comment la courbe incisive et les pointes canines font écho à la lèvre inférieure (*Figure 33*).



*Figure 33 :* Photo sourire naturel  
Source : (1)

Une autre mesure que nous pouvons obtenir de cette photo en la superposant avec la photo « Emma » est la position des pointes canines maxillaires par rapport à la lèvre au repos (*Figure 34*). Cette mesure est choisie par certains auteurs comme un autre point de départ approprié pour la conception du nouveau sourire (40).



*Figure 34 :* superposition des photos lèvres au repos et sourire naturel pour analyse DSD  
Source : (1)

- Sourire naturel de côté (gauche et droite) :

Ces points de vue offrent aux patients une vision de leur sourire qu'ils ne voient jamais d'eux-mêmes, mais que les autres voient tout autant que la vue de face (*Figure 35*). Souvent, les patients pensent qu'ils n'ont besoin de traiter que les dents les plus antérieures, mais ces vues latérales peuvent leur montrer que les prémolaires, voire les molaires, ont également besoin d'une amélioration. L'angulation correcte de cette photo consiste à capturer une légère quantité de l'incisive centrale la plus éloignée.



*Figures 35* : Photos sourire naturel droit et gauche  
Source : (1)

### 2.1.1.3. Photographies du plan dentaire

Ce sont les photographies les plus rapprochées du patient. Elles permettent d'étudier les éléments "micro-esthétiques" sans l'environnement des lèvres ni du visage. Les rétracteurs, les contrasteurs et les miroirs sont particulièrement sollicités ici.

- Vue frontale rétractée en Occlusion d'Intercuspidie Maximale (OIM) :

Cette photo, prise avec les rétracteurs tenus par le patient et tirés vers l'extérieur du visage (*Figure 36*), aide à l'analyse occlusale et renseigne sur les propriétés esthétiques des dents antérieures maxillaires et mandibulaires.



*Figure 36* : Photo vue frontale rétractée en OIM  
Source : (1)

- Ouverture  $f-32$
- Grossissement : 1:3
- Position des flashs : 7-5

- Arcade maxillaire antérieure rétractée et isolée :

Au minimum les six dents antérieures doivent être mises au point afin de capturer les éléments micro-esthétiques essentiels pour la réalisation des restaurations : l'ombre, la translucidité, l'opalescence, le lustre de l'émail, l'usure incisive et la santé gingivale (36).

Le patient tiendra les deux écarteurs et l'assistant(e) viendra placer le contrasteur sous l'arcade maxillaire (*Figure 37*). C'est cette photo qui servira le plus souvent de base à la conception du sourire via le logiciel de DSD.

- Ouverture f/32
- Grossissement : 1:2
- Position des flashes : 7-5



*Figure 37* : Photo arcade maxillaire antérieure rétractée et isolée  
Source : (1)

- Vue de profil rétractée en OIM (gauche et droite) :

En plus de fournir des informations esthétiques, ces vues sont utilisées pour étudier la relation occlusale entre les arcades (classification molaire d'angle de classe 1, 2 ou 3) (*Figure 38*). Il est donc important que cette photo capture au moins les premières molaires. Le patient est invité à détendre un rétracteur tout en le gardant à l'intérieur et à tirer le second de l'autre côté vers l'oreille.

- Ouverture f-32
- Grossissement : 1:3
- Position des flashes : 7-5



*Figure 38* : Photo arcades de profil rétractée en OIM  
Source : (1)

- Vues occlusales maxillaire et mandibulaire :

Ces photos fournissent des informations sur la forme des arcades, la structure des dents, les restaurations existantes et le degré d'espacement ou d'encombrement. L'arcade complète doit être visible de l'incisive centrale à la deuxième molaire. En termes d'angulation, les faces vestibulaires des centrales maxillaires doivent légèrement apparaître. Idéalement, les rétracteurs et les bords du miroir ne doivent pas être visibles dans le cadre.

Cette photo est prise avec le patient allongé et le photographe debout à 12 heures. L'assistant(e) tient le miroir à 45° par rapport à l'arcade et la caméra est maintenue à 90° par rapport au miroir (Figure 39).

- Ouverture f-32
- Grossissement : 1:3
- Position des flashes : rapprochés



Figure 39 : Photos arcades maxillaire et mandibulaire en vue occlusale  
Source : (1)

- Prise de teinte :

Pour l'enregistrement de la teinte, il est conseillé d'utiliser un teintier en 3D (ex: VITA 3D®) dont le langage (1M1, 1M2...) est plus détaillé que le langage d'ombrage classique (A1, B1, C1...). En effet, il permet de décrire l'aspect chromatique de la dent dans un champ plus large : le premier chiffre indique la luminosité, la lettre indique la teinte et le deuxième chiffre, la saturation. Chaque paramètre peut être ajusté ou discuté sans changer les deux autres. Il est souvent reconnu que la luminosité est le paramètre le plus important à enregistrer (41).

Concernant la position de la caméra et du teintier, il est crucial que ce dernier soit maintenu dans le même plan de lumière que les dents concernées. L'appareil photo doit être positionné à 90° par rapport aux dents et aux languettes, afin de s'assurer que le flash éclaire les deux éléments uniformément (Figure 40).

- Ouverture f-32
- Grossissement : 1:1, 1:2, 1:3
- Position des flashes : 7-5



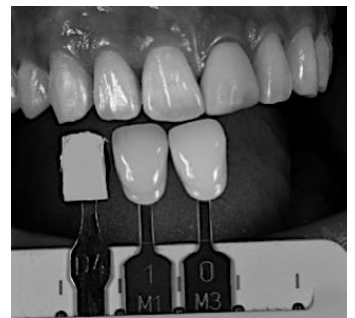
Figure 40 : Représentation d'une prise de teinte  
Source : (1)

Les deux onglets de luminosité les plus proches de la réalité sont choisis et photographiés directement sous la dent (*Figure 41*).



*Figure 41* : Photo d'une prise de teinte en couleur  
Source : (1)

La confirmation de la luminosité est obtenue en utilisant le mode monochrome (*Figure 42*). Cela peut être fait soit directement sur l'appareil photo, soit sur l'ordinateur en réduisant la saturation à zéro. Une image monochrome élimine toutes les informations de couleur et nous permet de voir plus clairement les différences de luminosité.



*Figure 42* : Photo d'une prise de teinte en monochrome  
Source : (1)

Une fois le groupe de luminosité choisi, plusieurs étalons de saturation et de teinte sont photographiés.

Le filtre à polarisation croisée ou « Polar-Eyes » est un outil récemment introduit, devenu essentiel pour la photographie dentaire, en particulier dans les cas de restaurations uniques esthétiquement difficiles (*Figure 43*). Développé par le Dr. P.Bazos, le système Polar-Eyes utilise des filtres apposés à la fois sur les flashes et sur l'objectif éliminant ainsi tous les reflets de la photo. Cela permet au clinicien et au céramiste de lire plus précisément les nuances chromatiques et de visualiser l'anatomie de la dentine sous la surface de l'émail.



*Figure 43* : Photo en mode polarisé  
Source : (1)



### 2.1.2. Scan préopératoire des arcades complètes

A ce stade, une empreinte optique complète de la situation initiale est prise. Elle sert à l'analyse occlusale et à la transition par superposition entre la planification en 2D depuis les photographies, vers la conception en 3D du projet. Le procédé de l'empreinte numérique sera détaillé plus tard.

## 2.2. Digital Smile Design

La planification via le DSD offre au praticien et au prothésiste une lecture claire et détaillée de toutes les informations nécessaires au projet. Elle permet également au patient de participer à la critique et de visualiser une prédiction fidèle de ce que sera le projet final.

L'analyse esthétique est une analyse faciale, gingivale et dentaire. Toutes les informations acquises au cours de ces analyses seront directement reportées et enregistrées sur le logiciel de Digital Smile Design (DSD) dont nous avons fait la description dans la partie précédente. Les principes esthétiques fondamentaux du sourire restent sensiblement les mêmes quel que soit le logiciel utilisé. Néanmoins, il est important de rappeler que ces critères servent seulement de base à la planification et doivent être personnalisés en fonction de chaque situation clinique et des volontés propres à chaque patient. L'esthétisme est avant tout une affaire personnelle.

L'échelle de mesure doit être calibrée dès le début sur l'ensemble des photographies afin de connaître les mensurations précises du cas initial et du projet. Les logiciels sont souvent dotés de règles numériques qu'il suffit d'étendre entre deux points pour en avoir la mesure (Figure 44). L'échelle est calibrée tout simplement en mesurant la distance entre deux points fixes en bouche et sur le visage dont on reportera les mesures sur la règle numérique.

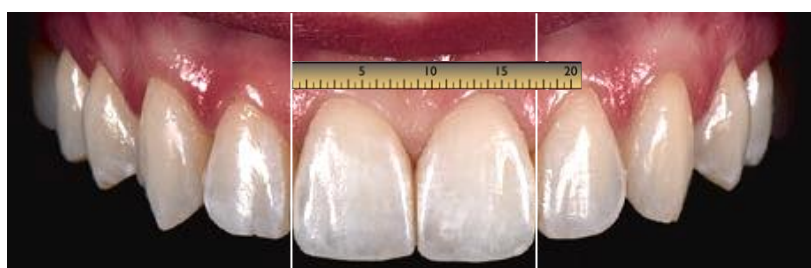
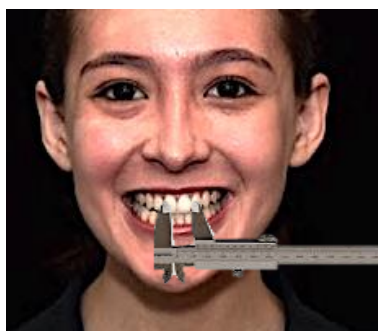


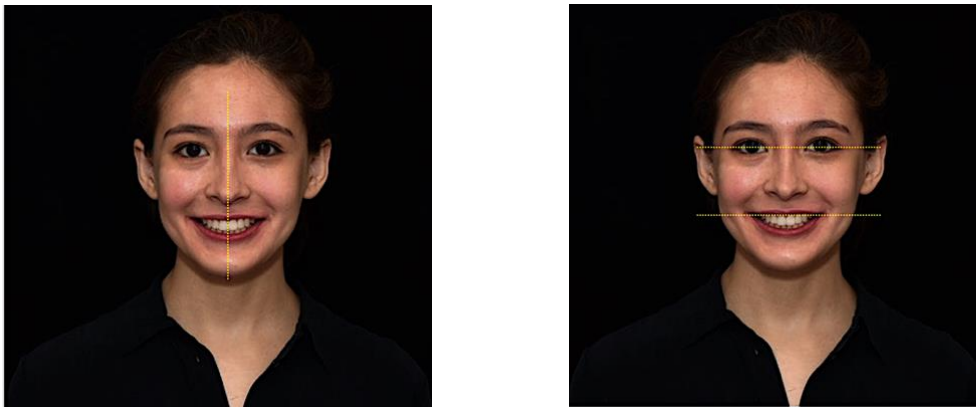
Figure 44 : Calibration de l'échelle de mesure sur le logiciel  
Source : (1) modifiée par l'auteur via Keynote®

## 2.2.1. Analyse esthétique dento-faciale

- L'axe des dents par rapport au visage :

L'analyse faciale a pour objectif de déterminer les traits caractéristiques du visage et de les mettre en relation harmonieuse avec le sourire. Depuis la photographie du visage complet en sourire naturel, les lignes de références faciales sont tracées (*Figure 45*). Il s'agit :

- De la ligne sagittale médiane (passant par le milieu des yeux, du nez et du menton) pour l'axe vertical
- De la ligne bi-pupillaire ou bi-commissurale pour l'axe horizontal



*Figure 45* : Report des lignes de références faciales sur la photo visage complet en sourire naturel (a) ligne sagittale médiane. (b) ligne bi-pupillaire et bi-commissurale.  
Source : (1) modifiée par l'auteur via Keynote®

Sur la photographie de l'arcade complète maxillaire rétractée, les lignes de référence dentaires sont : la ligne médiane dentaire (passant au milieu des incisives centrales) et le plan incisif (passant par les bords libres des incisives). Comme pour les lignes faciales, elles sont tracées directement sur le cliché (lignes rouges) (*Figure 46*).



*Figure 46* : Report des lignes de références dentaires sur photo arcade maxillaire complète isolée. Ligne médiane dentaire verticale et ligne occlusale incisive horizontale  
Source : (1) modifiée par l'auteur via Keynote®



Enfin, les deux photographies sont superposées entre elles afin d'étudier l'harmonie entre les lignes de référence faciales et dentaires (Figure 47). Cette méthode souligne l'importance de garder un maximum de cohérence entre les différents plans lors du shooting.

Dans le cas présenté ici, nous pouvons voir que les lignes faciales et dentaires de la patiente sont bien parallèles et perpendiculaires entre elles, témoignant d'une belle harmonie entre les traits de son visage et de son sourire.



Figure 47 : Report des lignes de références du visage sur le plan dentaire  
Source : (1) modifiée par l'auteur via Keynote®

Dans le sens vertical, les études esthétiques du sourire ont montré qu'un décentrage de la ligne médiane dentaire par rapport à la ligne médiane faciale n'est pas le facteur le plus dérangent dans l'harmonie du sourire. C'est surtout son inclinaison qui se remarque. Idéalement, elle doit être parallèle à la ligne sagittale médiane du visage.

Dans le sens horizontal, le plan d'occlusion doit être également parallèle au plan horizontal de référence du visage afin de constituer un ensemble harmonieux. Lorsque certaines dents ont des longueurs différentes (à cause de l'usure, de l'absence de certaines dents ou de leur positionnement initial) cela peut conduire à une impression de bouche « de travers ».

- La ligne du sourire :

Elle passe par les bords incisifs et occlusaux des dents supérieures (Figure 48). Cette ligne doit avoir une forme arrondie, concave vers le haut, qui viendra se marier avec la courbure de la lèvre inférieure. La ligne peut aussi être inversée en cas d'usure dentaire, rendant le sourire plus « triste ». La coïncidence des bords des dents maxillaires avec la lèvre inférieure est importante pour avoir un sourire gracieux. Lorsque les dents mandibulaires sont apparentes, le sourire peut sembler plus « agressif » et moins harmonieux.



Figure 48 : Tracé de la ligne du sourire et de la ligne labiale inférieure pour analyser leur cohérence  
Source : (42)

- Le degré d'exposition de la gencive :

Lors d'un sourire forcé, certaines personnes exposent peu, moyennement ou beaucoup de gencive. Le critère esthétique est qu'une exposition de 4 millimètres de gencive est souhaitable. Au-delà le sourire peut sembler disgracieux et déséquilibré (Figure 49).



Figure 49 : Photos de différents degrés d'exposition gingivale (a) Faible exposition. (b) Exposition considérée « normale » (c) Forte exposition « sourire gingival »  
Source : (42)

## 2.2.2. Analyse esthétique gingivale

L'esthétique dentaire et l'esthétique gingivale agissent ensemble pour donner au sourire son équilibre. Ainsi la santé de la gencive et sa morphologie sont des paramètres à évaluer. Une gencive en bonne santé implique une couleur rosée avec une surface mate. Un état gingival sain peut être retrouvé ou maintenu grâce à une bonne hygiène buccale et un suivi parodontal si nécessaire. Le DSD permet donc de contribuer à l'éducation du patient sur l'hygiène bucco-dentaire en mettant en évidence les aspects qui lui font défaut (42).

Chez les patients avec une gencive saine, les espaces inter-dentaires sont fermés par un triangle de gencive formant la papille (Figure 50). La négligence momentanée de l'hygiène buccale et les parodontopathies peuvent modifier cette architecture gingivale et entraîner l'apparition de « trous noirs » (disparition des papilles) inesthétiques (Figure 51).



Figure 50 : Photo d'une papille inter-dentaire saine  
Source : (42)



Figure 51 : Photo de trous noirs inter-dentaires  
Source : (42)

Il est possible de remédier à la fermeture de ces espaces grâce aux prothèses mais cela changera la forme globale de la dent. Ce compromis esthétique sera évalué grâce au logiciel de planification afin de décider avec le patient la solution qui lui correspond le mieux.

- Contour gingival et alignement des zéniths gingivaux :

Le zénith gingival est le point le plus haut de la gencive au niveau de chaque dent. Il n'est en général pas situé au centre mais légèrement décalé en position distale de quelques dixièmes de millimètre (Figure 52). Cette règle ne s'applique pas toujours pour les incisives latérales pour lesquelles ce point peut se situer au centre. Au maxillaire, le zénith gingival des incisives latérales est idéalement plus bas que celui des incisives centrales et des canines (Figure 53). Des variations de ce critère sont fréquentes et le sourire peut néanmoins rester harmonieux.



Figure 52 : Analyse des niveaux des zéniths gingivaux  
Source : (42)



Figure 53 : Analyse de l'harmonie des zéniths gingivaux  
entre les incisives et la canine  
Source : (42)

Lorsque la gencive présente une morphologie disgracieuse, elle peut être corrigée par une chirurgie gingivale avant le traitement prothétique. L'intérêt du DSD est de modéliser la position idéale des contours gingivaux afin de réaliser un guide chirurgical qui servira à la correction.

### 2.2.3. Analyse esthétique dentaire

- Les dimensions relatives des dents :

La proportionnalité relative des dents a longtemps été comparée à des éléments classiques de l'art et de l'architecture notamment à travers l'utilisation du nombre d'or. Cependant, une stricte application de ce dernier peut s'avérer excessive en dentisterie. La bouche étant l'élément dominant du visage, il en va de même avec les incisives centrales dans la composition dentaire. Leur dominance doit être évaluée selon la personnalité. Les études relatives à la composition dentaire mettent l'accent sur les proportions des dents antérieures plutôt que sur leurs dimensions. Elles permettent, à partir du rapport largeur/hauteur, de différencier les dents longues des dents courtes. Le rapport idéal pour les incisives centrales se situe vers 80 %. Il est en moyenne d'environ 70% pour les incisives latérales et les canines (Figure 54).

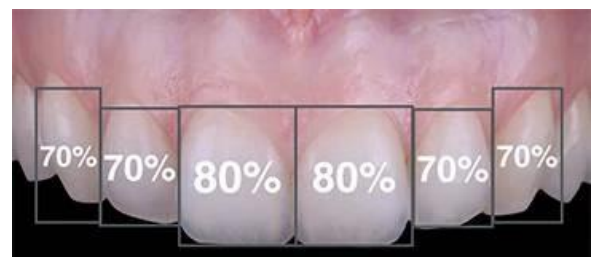


Figure 54 : Analyse des rapports longueur/largeur idéaux  
Source : (42)

- La forme des dents :

Il existe trois types essentiels de forme de dents : carrée, ovoïde et triangulaire, souvent en accord avec la forme du visage (*Figure 55*). C'est un paramètre capital dans la réussite d'un traitement esthétique. Visible par l'œil humain, il est indispensable de reproduire la forme adaptée à chaque dent, en respectant également les concavités et bombés naturels des autres dents pour obtenir le résultat le plus harmonieux possible.



*Figure 55* : Analyse des morphologies des dents  
Source : (42)

- La caractérisation interne des dents :

La caractérisation interne joue sur les phénomènes de réflexion et de transmission de la lumière (opalescence, transparence, translucidité), sur les variations de coloration (taches, fissures, coloration intrinsèque) ainsi que sur les détails morphologiques (abrasion, usure).

L'aspect opalescent est très présent chez les dents jeunes et s'atténue avec l'usure et l'âge. A l'inverse, la transparence augmente avec l'âge car la couche d'émail s'amincit, entraînant une diminution de leur luminosité et une apparence moins blanche (liée à la dentine jaune sous-jacente). Lors de l'intégration d'une ou plusieurs prothèses, ces éléments doivent être observés au plus près et communiqués fidèlement au laboratoire de prothèse. Une réhabilitation du sourire implique de prendre en compte chaque patient selon son sexe, son âge, sa personnalité et ses souhaits.

- L'état de surface des dents :

L'état de surface correspond aux stries horizontales (lignes de croissance) et aux défauts de surface verticaux qui existent naturellement sur une dent. Il est en rapport très étroit avec la couleur car il influence directement l'impact la lumière. Plus marqué chez les dents jeunes, l'état de surface provoque une réflexion accrue de la lumière qui les fait apparaître très claires. Devenant plus lisse avec l'âge, l'état de surface réfléchit moins la lumière et fait paraître les dents plus sombres.

- La couleur des dents :

Des trois composantes de la couleur, la luminosité est celle qui a la plus forte influence, suivie de la saturation (intensité de couleur) et de la teinte (tonalité chromatique). La couleur peut être modifiée selon les souhaits des patients lors d'une réhabilitation du sourire. Le blanc des yeux est un repère à ne pas dépasser faute de quoi le résultat ne paraîtrait pas naturel.

- L'axe des dents :

Chaque dent a un axe particulier par rapport à la verticale, avec une inclinaison croissante des incisives centrales aux dents postérieures (*Figure 56*). Cependant les variations des axes restent un paramètre minime dans le résultat esthétique global final.



Figure 56 : Analyse des axes des dents  
Source : (42)

- Le niveau des points de contact :

La situation du point de contact dépend de la position et de la morphologie des dents. Au maxillaire, il est situé assez bas au niveau des incisives centrales et remonte vers les dents postérieures (*Figure 57*).



Figure 57 : Analyse des hauteurs des points de contact  
Source : (42)

- Les angles inter-dentaires :

Les angles entre les incisives et les canines sont importants dans le rendu visuel d'un sourire car donnent du relief dans la courbe incisive. Plus l'on se dirige vers les dents postérieures, plus ces angles ont tendance à s'ouvrir (*Figure 58*).



*Figure 58* : Analyse des ouvertures des angles inter-dentaires  
Source : (42)

- L'épaisseur des dents :

Des incisives plaisantes présentent un bord fin et délicat. Des bords incisifs épais peuvent en revanche faire paraître les dents âgées, artificielles et globuleuses. L'épaisseur joue aussi un rôle dans le soutien de la lèvre supérieure : des incisives trop plates auront tendance à l'affaisser, vieillissant le visage (*Figure 59*).



*Figure 59* : Analyse des épaisseurs des dents  
Source : (42)

- L'usure dentaire :

Comme énoncé précédemment, lorsque la courbe du sourire est perdue, le sourire devient droit ou même inversé donnant un aspect vieilli et triste au visage (apparition de ridules d'expressions plus prononcées). Le premier signe d'usure dentaire est la perte de la pointe de la canine qui devient droite et plate. Les incisives peuvent également s'user et se confondre entre elles rendant le sourire plus âgé et plus « masculin » (*Figure 60*).

Les dents peuvent aussi présenter des fractures, des éclats d'émail ou des fêlures. Ces situations peuvent provoquer des sensibilités au froid, au chaud et des difficultés lors de la mastication avec un possible impact au niveau de la santé générale (troubles de l'ATM, brûlures d'estomac).



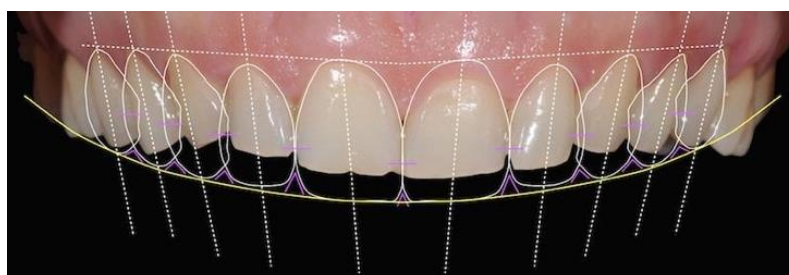
Il est donc indispensable de commencer par protéger ces dents usées avant tout traitement esthétique et de réhabiliter leur hauteur originale. Cela relâchera les muscles du visage qui paraîtra plus jeune, plus détendu avec moins de crispation au niveau de l'articulation temporo-mandibulaire.



**Figure 60 :** Photos de différents cas d'usure dentaire  
*Source : (42)*

### **2.3. Mock-up numérique et validation du projet**

Lorsque tous les paramètres esthétiques ont été étudiés, le praticien et/ou le prothésiste réalise un tracé du contour « idéal » des nouvelles dents sur la photographie de l'arcade isolée. Cette étape fait office de wax-up numérique (*Figure 61*).



**Figure 61 :** Représentation d'une conception DSD complète  
*Source : internet libre de droits*

Une fois la planification terminée, une représentation virtuelle du nouveau sourire peut être synthétisée et superposée aux différentes photographies afin de montrer au patient son nouveau sourire sous différents points de vue (*Figure 62*). Cette étape fait office de mock-up numérique et permet au patient de mieux visualiser le projet. C'est un outil de communication essentiel avant le début du traitement (38).

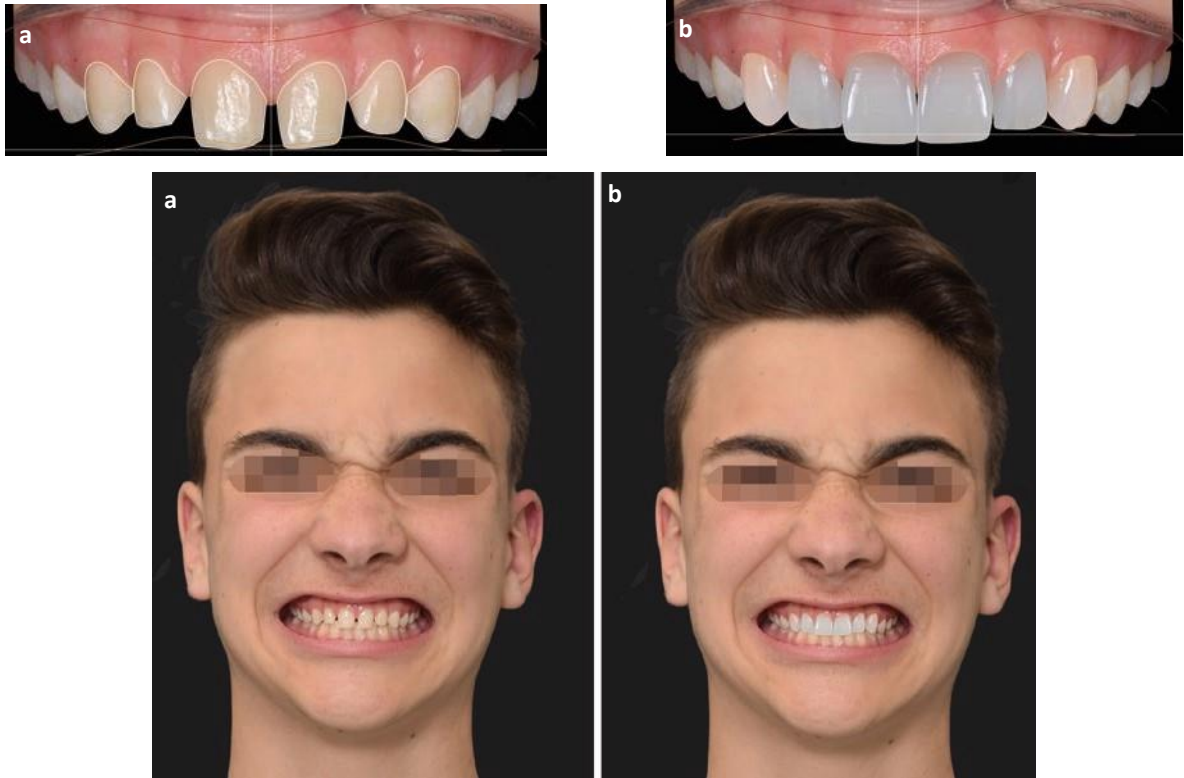


Figure 62 : (a) Photos intra et extra orale du cas initial. (b) Mêmes photos mais avec superposition de la conception du nouveau sourire  
 Source : (1)

Lorsque le projet est validé par le patient et le praticien, le mock-up numérique est transformé en un mock-up physique pour être testé directement en bouche. Il a pour objectif de permettre au patient de visualiser en condition réelle la forme finale du projet et de l'approuver avant que des procédures irréversibles ne soient réalisées. Il aide également le praticien à vérifier la bonne intégration de la réhabilitation aux tissus environnants (lèvres, joues, gencives) et la phonétique. Pour cette opération, les photographies sur lesquelles le projet a été conçu en 2D seront intégrées au modèle numérique issu des empreintes optiques précédemment prises (Figure 63). Le tracé dessiné lors de la planification sera pris en compte automatiquement par le logiciel ou devra être calqué manuellement (1).



Figure 63 : Capture écran de la conception en 3D du projet sur le logiciel InLab (SIRONA)  
 Source : (1)



Cette nouvelle approche permet d'apporter des retouches plus précises et donne un autre support de visualisation pour le patient. S'en suivra l'impression 3D du modèle de travail du projet esthétique, sur lequel le guide du mock-up et des préparations sont réalisés par des index en silicone (Figure 64)(43).

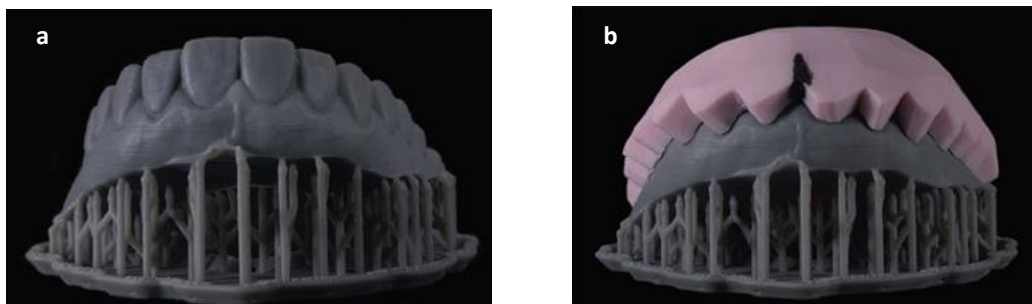


Figure 64 : (a) Impression 3D du modèle de travail du projet esthétique. (b) Préparation de l'index en silicone pour mock-up en bouche  
Source : (1)

L'index en silicone du mock-up est rempli d'une résine provisoire (ex: Bis-GMA) puis mis en bouche selon la technique du spot-etch. Le patient gardera ce provisoire en bouche quelques jours afin d'évaluer son confort et sa bonne intégration tant sur le plan biologique que psychologique (Figure 65).



Figure 65 : Photos intra et extra orale avec mock-up en bouche.  
Source : (1)



Le mock-up physique est la dernière étape d'avant soins. Avec toutes les techniques numériques apportées par la CAO citées précédemment, le patient bénéficie d'une grande variété de supports lui permettant de visualiser le projet final. Il est plus impliqué dans la démarche, mieux éclairé ce qui conduit généralement à une réalisation plus sereine des soins.

## 2.4. Empreinte optique des préparations

Une fois le mock-up validé par le patient et le chirurgien-dentiste, le plan de traitement peut être commencé, intégrant les procédures restauratrices, orthodontiques, parodontales, de chirurgies orthognathiques et implantaire guidées. Les préparations sont réalisées directement à travers le mock-up avec les guides de coupes comme aide opératoire (44)(Figure 66a). Les matériaux utilisés en CFAO esthétique sont pour la quasi-totalité mis en place par collage. Les préparations sont donc non-rétentives en combinaison avec des épaisseurs de céramique réduites, permettant une approche de traitement minimalement invasive.



Figure 66 : (a) Préparations à travers le mock-up. (b) Préparations finales avec cordonnet rétracteurs pour empreintes optiques  
Source : (1)

Pour se préparer à l’empreinte numérique, un cordon de rétraction (*ex : Pro Retract<sup>®</sup>*) ou un système de rétractation sans cordon (*ex : Astringent Retraction Paste de chez 3M<sup>®</sup>*) peut être utilisé pour bien isoler les limites de préparation (Figure 66b). La dent est ensuite séchée et le scialytique éteint. Le praticien procède alors à la numérisation intra-orale à l’aide de son scanner optique. Cette procédure en permet également de capturer l’image en couleurs vraies, qui aideront à choisir la teinte et à différencier l’aspect des tissus dentaires.

Trois impressions sont le plus souvent nécessaires : le(s) secteur(s) concerné(s), le(s) secteur(s) antagoniste(s) et l’occlusion. Pour les deux premières, le praticien glisse l’extrémité de la caméra sur les surfaces dentaires à enregistrer selon un chemin de balayage que nous détaillerons juste après. L’enregistrement de l’occlusion se fait en dernier : le patient se maintient en OIM et le praticien procède au scan des arcades sur leur face vestibulaire.



Figure 67 : Capture écran de la conception de la restauration (vue transparente) sur la dent préparée via le logiciel InLab (SIRONA)  
Source : (1)

Ainsi, le logiciel dispose de toutes les informations nécessaires pour la modélisation 3D du cas et pourra élaborer la restauration définitive selon la planification faite en amont (Figure 67).

- Le chemin de balayage :

Le chemin de balayage du scanner intra-oral doit suivre un mouvement spécifique pour augmenter la précision du modèle virtuel (18). Des études récentes ont montré l'influence de cette trajectoire sur la précision des données capturées à la fois in vitro et in vivo (45).

L'objet scanné doit être positionné au centre de la zone d'acquisition pour que la caméra puisse décrire une sphère de mouvements autour de lui. Durant tout l'enregistrement, le déplacement de la caméra doit être fluide, régulier, avec une vitesse constante et modérée tout en gardant une distance stable (entre 5 et 30 mm selon les scanners et les technologies) (18)(46). Cette rigueur est particulièrement difficile à maintenir lors d'un changement d'axe tel que la transition entre les régions antérieure et postérieure ou en cas de malposition. Certains fabricants proposent des guides pour faciliter le déplacement et garder les tissus environnants hors du champ de vision de la caméra.

Deux principales stratégies de balayages sont décrites par les fabricants :

- L'une est un mouvement linéaire sur toutes les surfaces vestibulaires suivi des surfaces occlusales et palatines/linguales (Figure 68).

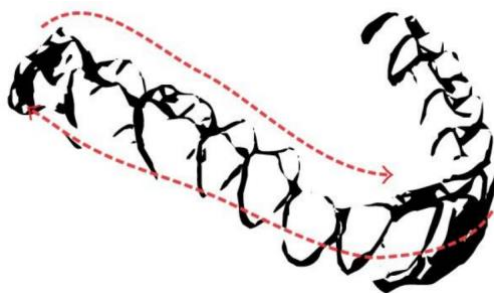


Figure 68 : Schéma du chemin linéaire de la caméra  
Source : (12)

- L'autre consiste à effectuer un balayage en S sur les faces vestibulaires, occlusales et palatines/linguales de chaque dent successivement (45)(Figure 69).



Figure 69 : Schéma du chemin en S de la caméra  
Source : (12)

La première stratégie limite la distorsion spatiale en terminant la capture à la position initiale mais montre une imprécision vers les zones interproximales. Cela amène le praticien à ré-intervenir et adapter son propre protocole de balayage dans les zones les plus difficiles. Parfois le suivi peut être perdu lors de l'impression, lorsque la distance ou le chemin d'analyse n'est pas respecté ou que le mouvement est trop rapide ou saccadé. Pour aider le logiciel à retrouver plus facilement son chemin en cas de perte de suivi, il est conseillé de commencer le scan par des surfaces détaillées et faciles à enregistrer (telles que les faces occlusales des dents postérieures par).

Une difficulté majeure est de contrôler la mobilité du patient qui peut conduire à scanner par erreur les tissus mous périphériques comme la langue, le plancher buccal ou les joues (47). De même, la présence de sang et de salive peut vite fausser l'image acquise (un filet de salive pouvant entraîner une erreur de l'ordre d'un millimètre) (48). Il est possible de basculer les modèles en mode monochrome pour mieux visualiser la précision de l'enregistrement. Cela permet de vérifier plus aisément si la préparation est correcte et si l'épaisseur prothétique disponible est suffisante ou si des retouches sont nécessaires. Si ce n'est pas le cas, le praticien peut reprendre immédiatement sa préparation, supprimer les zones retouchées sur le scan et ré-enregistrer la nouvelle forme. Cela permet un gain de temps et un confort de pratique considérable.

## 2.5. Fabrication

### 2.5.1. Chair-side ou assisted chair side

Les progrès de ces dernières années dans la FAO ont permis une tout autre approche du chirurgien-dentiste dans la fabrication de ses prothèses (Tableau 3). Il lui est désormais possible de fabriquer lui-même les restaurations dans la même séance selon l'approche « chair-side » ou CFAO directe. S'il n'a pas d'unité de FAO, il peut envoyer tous les fichiers à son prothésiste via le digital workflow, c'est l'approche « assisted chair-side » ou CFAO semi-directe (1). Dans l'éventualité où le praticien garde des méthodes conventionnelles d'empreinte, le laboratoire peut scanner celle-ci afin de garder une approche numérique de la réalisation des prothèses. On parlera dans ce cas de CFAO indirecte.

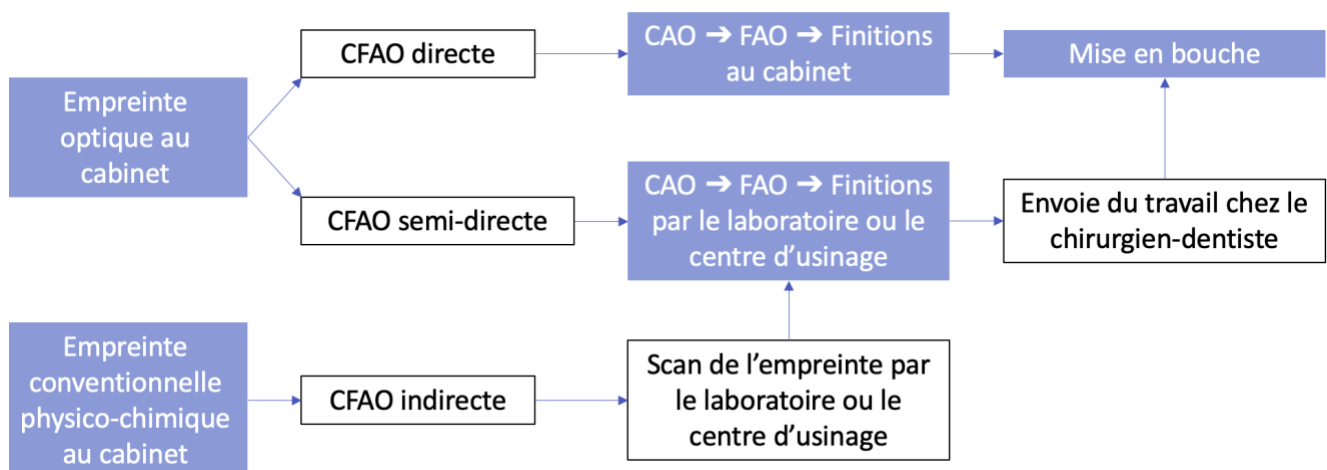


Tableau 3 : Représentation des différents chemins de CFAO possibles  
Source : (14)

Les régions antérieures étant soumises à des contraintes esthétiques plus strictes et délicates, la majorité de ces travaux passent encore par un travail de laboratoire. L'approche chair-side représente une bonne alternative de traitement, en particulier dans la zone prémolo-molaire (25). Cependant, le praticien devra se munir de tout le plateau technique nécessaire pour l'ensemble des étapes de fabrication de la prothèse et se renseigner au préalable sur la grande diversité des matériaux de FAO.

Actuellement, la FAO des prothèses se fait dans la majorité des cas par soustraction, tandis que les modèles et les guides sont fabriqués par addition.

## 2.5.2. Choix du matériau de restauration

Une large gamme de matériaux est disponible pour le processus de FAO, augmentant les indications possibles dans tous les domaines de la dentisterie. Le choix du bon matériau à utiliser pour chaque indication est devenu un véritable défi.

Il existe deux grandes catégories de matériaux usinables en CFAO : les blocs céramiques et les blocs hybrides (49).

Leur principal avantage par rapport aux méthodes conventionnelles est leur fabrication contrôlée industriellement, engendrant ainsi moins de micro-défauts de structure et une meilleure homogénéité de la matière.

### 2.5.2.1. Les céramiques

La céramique est un matériau formé d'une matrice (vitreuse ou polycristalline) dans laquelle sont infiltrées en plus ou moins grande quantité des particules appelés « fillers ».

La matrice vitreuse confère les qualités esthétiques à la céramique en permettant la diffusion de la lumière, tandis que les particules infiltrées lui donnent ses propriétés mécaniques. Par conséquent, plus la matrice vitreuse est prédominante, plus la qualité esthétique est importante mais plus fragile sera la pièce. Inversement, plus la matrice cristalline est prédominante, plus résistante est la pièce mais plus opaque et moins esthétique elle paraîtra. La classification microstructurale des céramiques est la plus judicieuse d'un point de vue clinique, puisqu'elle peut être directement corrélée aux indications et aux procédures de manipulation du matériau. Cette classification permet de distinguer trois principales sous-familles de matériaux (*Tableau 4*) :

- Les vitrocéramiques (matrice vitreuse infiltrée de cristaux)
- Les céramiques infiltrées (matrice cristalline contenant une faible quantité de verre)
- Les céramiques polycristallines (qui contiennent uniquement des cristaux)



Tableau 4 : Représentation des différents types de céramiques

Source : internet libre de droits

Malgré l'excellent comportement clinique et la diversité de leurs applications cliniques, les céramiques infiltrées ont été progressivement abandonnées pour des raisons économiques (50).

Parmi la grande famille des céramiques, on retrouve comme sous-catégories :

### Les vitrocéramiques à prédominance vitreuse :

#### - Les vitrocéramiques feldspathiques

- Premières céramiques à avoir été usinées par CFAO
- Ex : *CEREC Bloc (Sirona®), VitaBloc MarkII (Vita®)*



#### - Les vitrocéramiques renforcées en Leucite

- Souvent associées aux céramiques feldspathiques car leurs propriétés sont très proches, seul leur procédé industriel de fabrication diffère
- Ex : *Empress CAD (Ivoclar-Vivadent®)*



Ces deux types de céramique ont une phase vitreuse majoritaire (55 à 70%) leur donnant des qualités esthétiques supérieures aux autres mais des caractéristiques mécaniques faibles. Elles devront par conséquent être collées pour augmenter leur résistance. Il existe également des blocs avec des dégradés de teintes tridimensionnelles (Ex : *RealLife de chez Vita®*) qui intègrent une variation de la saturation et de la translucidité du collet au bord libre de la prothèse. Cette structure imite la chromaticité naturelle d'une dent avec un dégradé curviligne entre la dentine et l'émail. Le logiciel de CAO va déterminer la partie du bloc dans laquelle la restauration devra être usinée pour que cette variation de teinte coïncide avec celle des dents voisines (analysée par le logiciel lors du scan). Ce type de bloc a été développé spécifiquement pour les restaurations antérieures esthétiques.

Cependant, ces céramiques étant particulièrement translucides, elles ne pourront pas masquer correctement un moignon dyschromié ou un ancrage corono-radicaire métallique.

#### • Indications :

Ces céramiques ont les meilleures propriétés optiques des blocs CFAO et sont recommandées lors de la réalisation de pièces prothétiques à fort impact esthétique. Elles sont indiquées pour des facettes, des couronnes ou des inlays/onlays.

- Mise en forme et finition :

Une fois la pièce prothétique usinée, il existe différentes méthodes de traitement de celle-ci :

- Le polissage mécanique à la pièce à main : il confère un état de surface avec moins de rugosité par rapport au glaçage et à la dent naturelle (51).
- Le maquillage : il aide à obtenir les caractérisations spécifiques présentes sur les dents voisines (51).
- Le glaçage : l'utilisation d'une glazure permet d'apporter une brillance naturelle, bien supérieure à un simple polissage mécanique. Les processus de cuisson et de glaçage améliorent les propriétés mécaniques de la pièce non seulement par une cristallisation de sa structure, mais aussi par l'oblitération d'éventuelles microfissures causées par l'usinage (52).
- Le cut-back : la pièce prothétique monobloc est évidée sur sa partie vestibulaire et/ou incisale grâce au logiciel de CAO. Cette zone stratégique est ensuite stratifiée par le prothésiste afin de réaliser une personnalisation (mamelons, bords libre). Cette technique ne se réalise quasiment que sur les dents antérieures, lors d'une considération esthétique importante (53).

Après glaçage et/ou polissage, on observe une diminution de l'abrasion de l'émail antagoniste sur la céramique. La perte d'émail devient alors quasi équivalente à celle du matériau (54).

### Les vitrocéramiques à prédominance cristallines :

Elles possèdent la même structure biphasée que les vitrocéramiques décrites précédemment. Cependant la proportion de phase cristalline est fortement augmentée. La matrice vitreuse est réduite à 30% du volume. Ces céramiques présentent une résistance à la flexion améliorée, avec de bonnes propriétés optiques et plusieurs niveaux de translucidité et de teinte. Leur résistance mécanique est considérablement augmentée lorsqu'elles sont collées sur l'émail (jusqu'à 70% de la résistance de la zircone) (55).

- Les vitrocéramiques renforcées au disilicate de lithium

- Trois fois plus résistantes que celles renforcées à la leucite
- *E.maxCAD (Ivoclar- Vivadent®)*
- 



- Les vitrocéramiques renforcées au Silicate de lithium



- Indications :

Ce type de céramique présente de bonnes qualités optiques avec plusieurs niveaux de teinte et de translucidité, permettant d'obtenir des reconstitutions prothétiques esthétiques. Elles peuvent être utilisées pour réaliser des restaurations monolithiques telles que des facettes, inlays/onlays, couronnes antérieures et postérieures, ainsi que des bridges de petite étendue en antérieur mais ceci uniquement pour le disilicate de lithium (56).

Le disilicate de lithium peut aussi être utilisé comme une céramique d'infrastructure, au même titre que la zircone ou l'alumine, malgré ses propriétés mécaniques.

- Mise en forme et finition :

Elle dépend du stade de cristallisation du bloc usiné : un bloc entièrement cristallisé ne nécessite pas de cuisson après usinage mais présentera des propriétés mécaniques élevées rendant son usinage plus difficile. A l'inverse, un bloc partiellement cristallisé (ou « pré-fritté ») sera plus facilement usinable mais devra subir dans un second temps un passage au four pour une cristallisation finale. Cela lui donnera sa résistance mécanique définitive, au prix d'un temps de procédure augmenté et d'un coût supplémentaire lié au matériel. Si un maquillage ou un glaçage est réalisé, une cuisson supplémentaire de la pièce est nécessaire même si elle est déjà cristallisée.

### La Zircone :

La zircone pure, ou oxyde de zirconium ( $ZrO_2$ ) n'étant pas utilisable comme céramique dentaire, il a fallu la doper avec des oxydes (Magnésium, Cérium, Yttrium) pour donner la Zircone 3Y-TZP.

Cette céramique polycristalline ne contient pas de matrice vitreuse. Ses propriétés optiques sont grandement réduites et ne conviennent généralement pas à une indication esthétique. Du fait de sa forte opacité, la zircone doit être, dans la plupart des cas, recouverte de céramiques cosmétiques ou du moins réservée à des zones avec un impact esthétique moins marqué.

De plus, sans cette matrice, la zircone ne peut être collée et devra être scellée. L'intérêt principal de ce matériau réside dans sa résistance mécanique importante, jusqu'à présent inégalée par les autres céramiques. La zircone ne peut être mise en forme que par usinage (excepté le cas particulier du système Procera).

Certains fabricants proposent aujourd'hui des dérivés de la Zirconie afin d'essayer de répondre à cette limite esthétique :

- Les vitrocéramiques renforcées au Silicate de lithium et dioxyde de zirconium (ZLS)

Cette nouvelle gamme de matériau, similaire à la vitrocéramique renforcée au Silicate de lithium déjà connue, combinerait les performances esthétiques des vitrocéramiques avec des propriétés mécaniques améliorées (57)(58). La présence de zirconie dans la matrice vitreuse a permis d'augmenter sa proportion pour avoir un maximum de propriétés optiques, tout en gardant une résistance suffisante. Ex : *Suprinity PC (Vita®)*



Les résultats cliniques sur l'utilisation de la ZLS, bien que peu nombreux, rapportent des performances similaires aux céramiques à base de disilicate de lithium déjà connues (59)(60)(61).

- La zirconie hautement translucide (HTZ) :

La zirconie hautement translucide se compose d'une céramique zirconie stabilisée à l'yttrium de troisième génération. Outre les changements microstructuraux, les propriétés optiques et esthétiques ont été améliorées (translucidité et transmission de la lumière) au détriment des propriétés mécaniques qui ont été dans une certaine mesure réduite (62).

Un rapport de cas publié, suggérant l'utilisation de facettes en zirconie pour les dents antérieures comme alternative potentielle (63), où ils imitent avec succès la caractéristique de la dentition naturelle et ont présenté de bons résultats de suivi après 1 an. Cependant, la recherche et les résultats cliniques à long terme sur la prévisibilité clinique de la HTZ font encore défaut et en particulier en tant que facettes.

### 2.5.2.2. Les blocs hybrides

Ces matériaux polymères ont une matrice résineuse (et non vitreuse) et représentent une alternative aux blocs en céramique. Ils forment un nouveau groupe de matériaux de restauration pour la CFAO et ont été développés pour combiner les avantages des polymères (résistance accrue à la casse et collage facile) avec ceux des céramiques (principalement leur qualité esthétique supérieure). A ce jour, les qualités esthétiques de ces blocs sont loin de faire l'unanimité comparés à ceux cités précédemment. Ils demeurent surtout indiqués pour des restaurations partielles fixes (inlays, onlays) ou des couronnes simples à faible impact esthétique.

En fonction de leur microstructure et de leur mode de polymérisation industrielle, les blocs hybrides peuvent être divisés en deux catégories :

- Les composites CFAO à charges dispersées (DF)

Ces blocs sont basés sur les matériaux composites conventionnels à base de résine que l'on utilise en restauration directe. Leur module d'élasticité est inférieur à la dentine et leur faible résistance à l'abrasion les rend sensibles à l'usure. Ils entraînent de ce fait moins d'usure de l'antagoniste que les céramiques.

- Les PICN (Polymer-infiltrated Ceramic Network)

Ces matériaux se présentent sous la forme d'une céramique infiltrée par un polymère. Ils ont d'abord été classés comme étant des céramiques hybrides mais, il s'agit en réalité de matériaux composites constitués de structures multiphasiques comprenant de la céramique. Ces matériaux représentent un nouveau concept sur le mélange des caractéristiques esthétiques des céramiques et des propriétés mécaniques des composites. Cependant, il a été rapporté des performances intermédiaires (64).

### **3. Discussion sur l'intérêt de la CFAO**

#### **3.1. Amélioration de la pratique**

##### **3.1.1. Confort du geste**

- **Numérisation et visualisation en temps réel des impressions :**

La qualité des préparations dentaires peut être analysée immédiatement après le balayage intra-oral sur la base du modèle numérique. Dans le cas des impressions conventionnelles, les erreurs ne pourront être détectées que sur le modèle en plâtre. Elles ne peuvent pas être corrigées à ce stade et impliquent une ré-intervention complète du chirurgien-dentiste.

- **Reproductibilité facile :**

Si un modèle numérique contient des erreurs, un ré-enregistrement de la zone défectueuse ou de l'ensemble du processus de balayage peut être effectuée rapidement. Dans le cas d'une impression conventionnelle, la remise en œuvre de entraîne une perte de temps non négligeable entre la réinstallation du plateau technique et le temps de prise de l'empreinte elle-même.

- **Qualité de traitement :**

La communication rapide à distance via le digital workflow réduit nettement le temps passé au fauteuil sans être au détriment de la qualité. L'approche chair-side permet par exemple d'assurer une étanchéité immédiate de la zone préparée et une stabilisation du potentiel adhésif de la structure dentaire restante, non compromise par un ciment temporaire.

- **Satisfaction des patients :**

La CFAO chair-side évite l'utilisation parfois chronophage et délicate d'un provisoire ainsi que la programmation d'un deuxième rendez-vous avec des anesthésies supplémentaires. De nombreux patients apprécient de recevoir la restauration finale le même jour que le soin. Cela leur permet une économie de temps, de déplacement et d'attente. Ces technologies sont des éléments différenciateurs assurant une meilleure visibilité du cabinet.

Une étude récente a révélé que seulement 5 % à 15 % des dentistes utilisent des technologies d'impression numérique, la plupart restant encore aux techniques conventionnelles (65). Certains patients seront également heureux d'éviter les techniques classiques d'empreintes induisant souvent un réflexe nauséeux.

### 3.1.2. Aide au diagnostic

- Pré-analyse :

De nombreux éléments peuvent être oubliés ou mal interprétés lors d'une analyse clinique classique sans outils. Les photographies et scans préliminaires des arcades complètes peuvent être enregistrés lors de la constitution du dossier. Le praticien peut les ressortir à sa convenance, permettant un meilleur recul et une planification plus réfléchie.

- Analyse des préparations et des restaurations :

Des paramètres importants de préparation et de restauration tels que l'axe d'insertion, les contre-dépouilles ou la distance à l'antagoniste (épaisseur minimale de la couche) peuvent être vérifiés directement sur le modèle numérique et retouchés rapidement.

- Absence d'usure du plâtre :

Contrairement aux moulages en plâtre, les modèles numériques ne sont pas sujets à l'usure (lors de l'analyse occlusale par exemple) et sont disponibles en permanence pour un traitement répété dans une qualité inchangée.

- Suivi et analyses numériques :

Contrairement aux moulages conventionnels, les modèles numériques et les photographies permettent d'effectuer de nombreuses analyses intra-orales sur le long terme pour identifier les changements tels que les migrations dentaires, les rotations, l'abrasion et les récessions gingivales.

- Affichage « couleur vraie » :

Certains systèmes de balayage intra-oral génèrent maintenant des modèles en couleurs vraies permettant une meilleure visualisation des caractéristiques de la structure des dents et de la texture gingivale. Le système peut ensuite analyser les variations colorimétriques des gencives et des dents, ce qui n'est pas possible avec les moulages en plâtre. La mesure sélective de l'ombre des dents est également possible avec certains systèmes.

- Capacité de planification du traitement implantaire :

Les données numériques peuvent être fusionnées avec d'autres fichiers, tels que ceux issus de la numérisation faciale ou de la radiographie 3D. Cela permet au chirurgien-dentiste d'effectuer des études de diagnostic et de planification plus complètes.

### 3.1.3. Communication

- Communication praticien - prothésiste

Le prothésiste n'étant pas en contact direct avec le patient, il est de la responsabilité du praticien de lui retranscrire toutes les informations de la façon la plus claire et complète possible. Ce passage d'informations entre les deux acteurs est la source principale d'erreurs, pouvant aboutir à l'échec fonctionnel et/ou esthétique du traitement. Les outils numériques offrent un workflow totalement dématérialisé avec un cloud médical par lequel transitent les fichiers numériques. Les informations sont organisées, facilement atteignables, plus sécurisées, et permettent une meilleure traçabilité. Le transfert via le cloud a aussi l'avantage d'être plus stable que le transport physique d'une empreinte. Moins de risque de casse ou de déformation lors du transport, donc moins de risque de faire revenir le patient.

- Communication patient - praticien

Le DSD permet au patient qui, n'ayant pas les connaissances d'un professionnel, peut comprendre plus facilement quels sont les objectifs, les difficultés et les attentes que l'on peut espérer du traitement. Cette clarté d'information permet de les mettre plus à l'aise face au projet thérapeutique et les amène à une meilleure acceptation des soins. Leur consentement est plus éclairé sans toutes fois garantir un devoir de résultat.

L'impact visuel des méthodes numériques peut également servir à parfaire leur éducation bucco-dentaire. La bibliothèque de cas clinique peut être réutilisée et discutée avec les patients afin de souligner les points à améliorer. Une meilleure qualité de communication ne sera que source de meilleurs résultats tant sur le plan dentaire qu'humain.

## **3.2. Adaptabilité et précision des méthodes**

### **3.2.1. Empreinte optique**

Des études cliniques récentes ont démontré de manière significative que les techniques d'impression numériques étaient préférées aux méthodes conventionnelles. Elles sont décrites comme plus confortables, plus rapides, plus efficace mais également plus conviviales, jouant ainsi sur le ressenti du patient lors de sa visite au cabinet (65)(66)(67).

Chaque scanner optique utilise une technologie et des capteurs spécifiques qui auront un impact sur la taille et le poids de la tête de numérisation (Par exemple, les technologies confocal et AWS nécessitent des composants plus volumineux que les autres)(18). Parmi ceux qui utilisent la même technologie, des différences cliniques ont également été rapportées (68). Elles seront principalement liées au temps pour se familiariser avec l'ergonomie et le logiciel de chaque système, dont la courbe d'apprentissage peut être plus lente avec certains (8). Néanmoins, quel que soit le dispositif, sa technologie ou le temps d'apprentissage, l'empreinte optique est significativement plus rapide qu'avec les méthodes conventionnelles (en moyenne d'environ 4 minutes pour des enregistrements sectoriels et de 15 minutes pour les arcades complètes).

Les empreintes traditionnelles souffrent de problèmes tels que des bulles, des déchirures ou des débris incrustés dans le matériau d'impression. Dans le cas de l'empreinte optique, le praticien devra tout autant s'assurer d'obtenir un bon enregistrement de la dent à restaurer. Le scan doit mettre l'accent sur la ligne marginale de la préparation et recréer avec précision les dents adjacentes et antagonistes. Cette méthode nécessite le même type de gestion des tissus mous, de rétraction, de contrôle de l'humidité et de l'hémostase que celle des impressions conventionnelles.

Certaines zones peuvent être impossibles à capturer avec une caméra intra-orale (faible ouverture du patient, angle impossible à atteindre avec la caméra) pouvant contraindre le praticien à revenir vers une technique plus traditionnelle.

De nombreuses études comparatives in-vitro et in-vivo ont été réalisées et les plus récentes démontrent que les dernières technologies numériques ont un degré de précision similaire voir supérieure aux techniques d'empreintes conventionnelles (69). Tandis que les études in-vitro ont tendance à démontrer une légère supériorité des empreintes conventionnelles par rapport aux empreintes optiques, les études in-vivo quant à elles, indiquent le contraire. On peut donc penser que dans des conditions optimales, les empreintes conventionnelles ont encore un degré de précision supérieure bien que de moins en moins marqué. Mais cela ne reflète pas la réalité clinique qui, lorsqu'elle est prise en compte, rend l'utilisation de l'empreinte optique en milieu oral plus intéressante car plus facile, plus reproductible et plus précise par rapport aux méthodes conventionnelles. Quoiqu'il en soit, l'utilisation clinique de l'empreinte numérique a été validée à mainte reprise.

### 3.2.2. FAO soustractive

#### 3.2.2.1. Précision

La précision du positionnement des outils de fraisage a été rapportée comme étant de l'ordre du dixième de micromètre (24). La FAO par soustraction permet d'éliminer de nombreuses étapes de fabrication ce qui est supposé améliorer la précision globale. Cependant, il existe encore un manque de preuves convaincantes à l'appui de cette hypothèse (70) car en termes d'ajustement, les méthodes conventionnelles ont tendance à présenter un meilleur résultat (71)(72). Cette différence était suffisamment significative pour être associée à plus de micro-fuites (70).

Ces problèmes d'ajustement ne sont pas liés uniquement à la FAO elle-même. Deux autres facteurs expliquent cet écart de précision :

- La fabrication de restaurations suivant les protocoles de CFAO nécessite une nouvelle courbe d'apprentissage par rapport au protocole conventionnel, bien établi et avec plus de recul.
- Bien que plusieurs étapes conventionnelles soient éliminées, le protocole de CFAO introduit de nouvelles étapes dans le processus de fabrication, sources d'erreurs (73).



La finesse de l'usinage est dépendante en grande partie du diamètre de la plus petite fraise qui est habituellement d'environ 1 mm (23). Les fraises de plus petit diamètre ne semblent pas apporter plus de précision (73). L'étude d'Örtorp et al. indique que, pour fraiser l'angle interne d'un diamètre inférieur au diamètre de la plus petite fraise, une fonction de compensation de fraisage doit être incorporée dans le logiciel (74). Cette compensation produit des erreurs d'ajustement dites « négatives » qui augmentent considérablement l'espace interne entre la restauration et la surface de la dent préparée (Figures 70). Cet excès d'espace est associé à :

- Une restauration plus « lâche » pouvant entraîner des interférences occlusales, des écarts marginaux et une perte de rétention de la restauration.
- Une épaisseur de restauration finale réduite, augmentant la susceptibilité à la casse.

A l'inverse, si la compensation n'a pas lieu, des erreurs « positives » sont produites et la restauration risque de ne plus être adaptée à la préparation, à moins d'être retouchée manuellement.

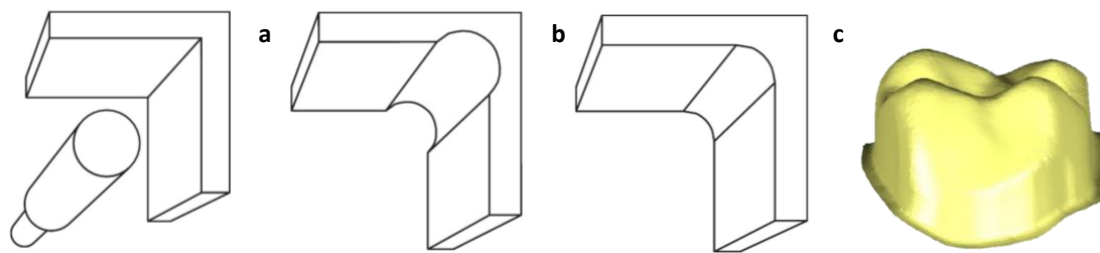


Figure 70 : (a) Compensation négative. (b) Compensation positive. (c) Forme arrondie idéale de la préparation pour éviter les compensations.  
Source : (26)

Les problèmes consécutifs à ces espaces négatifs ou positifs peuvent être minimisés en arrondissant les angles sur les préparations dentaires. Cela minimisera l'impact de la compensation de fraisage pour que le diamètre du bord puisse accueillir le diamètre de la fraise (23). De plus, une surface de préparation lisse et continue avec un minimum d'irrégularités et des marges de préparation bien définies amélioreront la qualité de la restauration fraisée.

### 3.2.2.2. Matériaux

Les céramiques ont prouvé leur longévité et restent les matériaux de choix pour les restaurations esthétiques (29). L'un des principaux avantages de l'usinage par soustraction est d'assurer une ébauche de qualité industrielle. Cela permet de réduire les défauts intrinsèques des matériaux, tels que l'inhomogénéité de structure, grâce à une production standardisée, reproductible et précise tout en s'appuyant sur le contrôle de qualité plus strict du fabricant plutôt que sur le laboratoire de prothèse (75).

### 3.2.3. FAO additive

#### 3.2.3.1. Précision

Parmi les avantages de la fabrication additive on retrouve la possibilité de produire des pièces personnalisées avec une morphologie détaillée et des géométries complexes. Étant donné qu'aucun outil de fraisage n'est impliqué, aucune fonction de compensation n'est requise contrairement à la fabrication soustractive. De plus, l'ensemble du processus de production est passif et n'implique pas d'application de force, réduisant le risque de dégradation de la restauration.

Cependant, en raison de la procédure de production qui implique une superposition séquentielle, la surface externe a tendance à avoir une morphologie dite en « escalier » (*Figures 71*). Cette morphologie affecte négativement l'ajustement de la pièce et son état de surface : des préoccupations cliniques ont été soulevées concernant l'usure des antagonistes si la prothèse n'est pas polie ou vernis (32)(76).

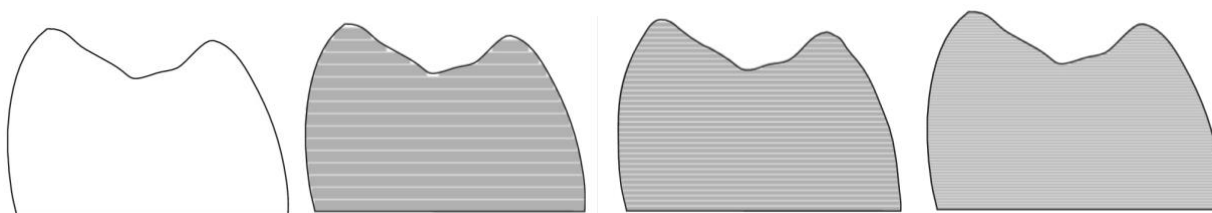


Figure 71 : Schémas représentant la diminution de la morphologie en « escalier » avec la diminution de l'épaisseur de chaque couche.  
Source : (26)

La précision de la technique additive dépend de l'épaisseur de chacune des couches et de la largeur de la buse. Plus la buse est étroite, plus les couches sont minces et plus le produit final sera précis, mais augmentera exponentiellement le temps de fabrication. Dans la littérature dentaire, il existe un nombre limité d'études évaluant la précision des prothèses fabriquées par fabrication additive car son utilisation est encore trop récente et expérimentale.

L'Addition par fusion sélectif au laser s'applique pour les prothèses en métal, donc sans application d'ordre esthétique à ce jour. Celle par frittage sélectif est encore expérimentale.

La stéréolithographie est principalement utilisée pour produire des guides chirurgicaux. Une étude clinique a révélé que les guides produits par stéréolithographie permettent une pose d'implant plus précise qu'avec des guides fabriqués de manière conventionnelle (77).

Il existe actuellement un nombre de données très limitées sur la précision de l'impression 3D pour son application dentaire. Ebert et al. ont rapporté que cette méthode pourrait permettre la fabrication de pièces en céramique très précises (78). L'impression 3D des prothèses dentaires étant encore à ses débuts, il est probable que son amélioration future rende cette technologie très compétitive par rapport aux méthodes de fabrication actuelles (76).

#### 3.2.3.2. Matériaux

Les types de matériaux pouvant être traités par la FAO additive limitent ses indications dans la dentisterie esthétique actuelle. Le fait qu'elle présente de nombreux avantages par rapport au traitement soustractif rend sa recherche auprès des fabricant une priorité. Elle a l'avantage d'être plus économique, car n'entraîne aucun gaspillage de matière, et tout matériau inutilisé peut être entièrement réutilisable. Elle permet aussi de fabriquer plus facilement des pièces de gros volume à géométrie complexe et dans des matériaux ayant des propriétés différentes (31). Le principal inconvénient rapporté à ce jour pour les prothèses usinées par addition est leur porosité trop élevée. Elle engendre une perte en résistance et donc de durabilité encore inacceptable pour une utilisation clinique.

### **3.3. Rendements**

#### **3.3.1. Ergonomie**

- Stockage de l'information :

Les données numériques peuvent être archivées plus facilement et plus efficacement qu'avec des moulages conventionnels. Plus besoin de salle pour le stockage des moulages. Les dossiers des patients peuvent être rapidement et facilement localisés et ouverts à l'aide de la fonction de recherche.

Cette ergonomie de stockage des données facilite le suivi entre les étapes. Elle permet de vérifier tout au long du traitement si les objectifs déterminés lors de la planification sont atteints ou si des ajustements supplémentaires sont à prévoir pour améliorer le résultat final.

- Pas de plateau d'impression à nettoyer et désinfecter :

Les scanners intra-oraux sont faciles à désinfecter. Certains ont des embouts ou des manchons jetables, tandis que d'autres utilisent des embouts de balayage auto-clavables. Cela élimine la tâche fastidieuse de nettoyage et de désinfection d'un plateau d'impression.

- Économie de main d'œuvre et de matériaux :

Aucun matériau d'impression n'est nécessaire pour les impressions numériques. L'aide d'un(e) assistant(e) n'est plus nécessaire, le praticien pouvant réaliser seul le protocole d'empreinte.

### 3.3.2. Temps

Les empreintes numériques ont le potentiel d'être plus rapides et plus faciles que les empreintes conventionnelles. Les modèles en plâtre et les wax-up ne sont plus nécessaires, réduisant les étapes de planification sans perte de qualité. Selon Sirona, les impressions en demi-arcade avec la version la plus récente de CEREC prennent 40 secondes et les impressions en plein arc prennent 2 minutes contre 13 minutes avec les méthodes conventionnelles. La CFAO permet aussi une conception et une fabrication plus rapides (une couronne périphérique ne prend que 6 minutes à usiner).

Dans une approche chair-side, avoir une fraiseuse sur place signifie que les patients peuvent recevoir leur restauration permanente le jour même de leur arrivée, sans prendre un deuxième rendez-vous. Les patients n'ont plus besoin d'avoir des provisoires, qui prennent du temps à fabriquer et à ajuster. Si des anesthésiques sont nécessaires, ils ne seront administrés qu'une seule fois.

Dans une approche assisted chair-side, les informations dématérialisées sont transmises en quelques secondes, évitant ainsi les délais d'un service de livraison, même express. Le cas traité plus rapidement bénéficie au patient, au praticien et au prothésiste.

La transition numérique met à disposition de nouvelles technologies dont la maîtrise nécessite un temps d'apprentissage supplémentaire dans la carrière du praticien. Chacun sera libre de décider jusqu'où il veut pousser l'intégration numérique à sa pratique. Dans l'approche chair-side, le chirurgien-dentiste devra maîtriser des étapes de fabrication jusqu'alors réservées au prothésiste. Un apprentissage, un investissement et une charge de travail supplémentaire que certains pourront juger gratifiants mais qui pourront en décourager d'autres.

### 3.3.3. Coûts

Les économies de temps et de main-d'œuvre, grâce à l'utilisation d'un système de CFAO, ont le potentiel de réduire les coûts comme le démontre l'étude Dr. P. Kachalia qui a estimé à environ 60% la réduction des frais de laboratoire. La rapidité et la haute qualité des restaurations devrait séduire et attirer une patientèle supplémentaire et accroître la visibilité du cabinet.

Cependant, le coût élevé de l'équipement et des formations reste un frein pour de nombreux praticiens. Par exemple, un système CEREC AC ou E4D complet (scanner + logiciel + usineuse) a un coût d'environ 70 000 € à 100 000 €. Une option moins coûteuse consiste à acheter uniquement un scanner optique, dont le prix varie de 20 000 € à 35 000€ et qui pourra être complétée par une unité de fraisage. La maintenance hors garanties et les mises à jour parfois payantes sont également à prendre en compte dans l'investissement global.

Par ailleurs, les dentistes ayant un volume limité de restaurations prothétiques auront du mal à rentabiliser leur investissement. Une étude préalable de leur activité est donc recommandée avant de se lancer dans la transition numérique.

Selon l'étude menée au cours d'une thèse de 2018, le coût représente la principale réticence chez les praticiens qui ne sont pas équipés en CFAO (79). Toutefois, cette même étude a mis en avant que 84,7% des praticiens dotés de la CFAO sont très satisfaits de cette évolution dans leur pratique.

## **CONCLUSION**

Les avancées numériques ont considérablement changé notre approche dans la prise en charge de l'esthétisme. Bien que son intégration dans notre pratique soit relativement récente, les derniers progrès ont su confirmer sa crédibilité et son intérêt, incitant de plus en plus de praticiens à effectuer leur transition numérique, partielle ou totale. Ce domaine connaît une évolution constante, offrant à chaque génération des dispositifs toujours plus précis et performants, assurant une gestion des cas plus facile, plus rapide et de meilleure qualité.

Une chose semble néanmoins certaine : ces nouveaux outils remplaceront tôt ou tard les techniques conventionnelles établies depuis des décennies.

L'aide diagnostique et opératoire qu'ils apportent est bénéfique sur plusieurs plans : sur le plan individuel, en perfectionnant la pratique du chirurgien-dentiste et du prothésiste tout en améliorant le confort du patient, mais aussi sur le plan collectif, en favorisant la communication entre les acteurs, facteur essentiel pour maximiser les chances de réussite du plan de traitement esthétique.

Cette aide n'implique pas pour autant une banalisation de la prise en charge. Chaque étape, de la constitution du dossier photographique jusqu'au choix du matériau à usiner, impose une grande rigueur de la part du praticien. L'automatisation des méthodes ne rime pas non plus avec une dépersonnalisation des soins. Elle permet au contraire de renforcer l'implication du patient dans la démarche afin que le résultat puisse correspondre au mieux à ses attentes tout en restant dans un souci de consentement éclairé.

Par ailleurs, le vécu du patient chez le dentiste est rendu plus agréable, plus rassurant, car les outils numériques lui permettent de mieux comprendre les tenants et aboutissants du traitement. Il peut communiquer plus aisément sur ses attentes, d'autant plus lorsqu'il s'agit d'esthétisme. Ces nouvelles méthodes s'inscrivent dans une philosophie moderne de traitements conservateurs minimalement invasifs en s'adaptant à la situation clinique et non l'inverse. Elles assurent une meilleure intégration biologique et esthétique grâce aux types de matériaux qu'elles utilisent.

Cependant, l'essor du numérique a entraîné l'apparition d'une multitude de nouveaux appareils et fabricants. Chaque praticien devra prendre connaissance au préalable des caractéristiques du dispositif qu'il souhaite acquérir afin de s'assurer qu'il corresponde au mieux à sa pratique. Il devra aussi veiller à ne pas se laisser dépasser par cette aide pouvant le rendre dépendant de ces outils et conserver une approche globale des soins afin de pouvoir envisager une solution alternative lorsque les limites du numérique sont atteintes. Chacun décidera du degré de transition numérique qu'il souhaite intégrer en fonction de l'investissement, de sa pratique, de sa courbe d'apprentissage et de son aisance avec ces nouveaux dispositifs.

Aujourd'hui, cette transition a un coût élevé pour son acquisition et sa maintenance, et ne correspond pas forcément à toutes les activités. Toutefois, ne pas se lancer dans le numérique risque de constituer un handicap futur lorsque sa place sera omniprésente dans notre art. La grande majorité des praticiens ayant choisi d'introduire le numérique dans leur pratique en sont satisfaits.

Les progrès de la CFAO sont permanents. Les futurs dispositifs amélioreront l'automatisation et la précision des traitements tout en réduisant la durée des procédures, pour un résultat encore plus qualitatif et une plus grande satisfaction des patients.



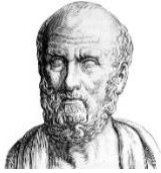
# **BIBLIOGRAPHIE**

1. Trushkowsky RD, éditeur. *Esthetic Oral Rehabilitation with Veneers: A Guide to Treatment Preparation and Clinical Concepts* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2020 [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-41091-9>
2. McLaren EA, Schoenbaum T. Digital photography enhances diagnostics, communication, and documentation. *Compend Contin Educ Dent*. déc 2011;32 Spec No 4:36-8.
3. Wee AG, Meyer A, Wu W, Wichman CS. Lighting conditions used during visual shade matching in private dental offices. *J Prosthet Dent*. avr 2016;115(4):469-74.
4. Kattadiyil MT, Goodacre CJ, Naylor WP, Maveli TC. Esthetic smile preferences and the orientation of the maxillary occlusal plane. *J Prosthet Dent*. déc 2012;108(6):354-61.
5. Hong-Seok P, Chintal S. Development of High Speed and High Accuracy 3D Dental Intra Oral Scanner. *Procedia Engineering*. 2015;100:1174-81.
6. Kravitz ND, Groth C, Jones PE, Graham JW, Redmond WR. Intraoral digital scanners. *J Clin Orthod*. juin 2014;48(6):337-47.
7. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguie G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. *Journal of Healthcare Engineering*. 2017;2017:1-9.
8. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J*. 2009;28(1):44-56.
9. Logozzo S, Franceschini G, Kilpelae A, Caponi M, Governi L, Blois L. A Comparative Analysis Of Intraoral 3d Digital Scanners For Restorative Dentistry. 2008;
10. Giménez B, Özcan M, Martínez-Rus F, Pradíes G. Accuracy of a Digital Impression System Based on Active Wavefront Sampling Technology for Implants Considering Operator Experience, Implant Angulation, and Depth: Accuracy of Digital Impression Methods for Implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. janv 2015;17:e54-64.
11. Ender A, Mehl A. Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems. *Int J Comput Dent*. 2013;16(1):11-21.
12. Magne P, Magne M, Belser U. Natural and Restorative Oral Esthetics Part I: Rationale and Basic Strategies for Successful Esthetic Rehabilitations. *J Esthet Restor Dent*. juill 1993;5(4):161-73.
13. Omar D, Duarte C. The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs: A review of literature. *The Saudi Dental Journal*. janv 2018;30(1):7-12.
14. Bichacho N, Musella V, Feraru M. Individualizing a smile makeover. Current strategies for predictable results. 1 janv 2016;32:109-19.
15. Brown C. Major factors to consider before making a CAM milling machine purchase. *Inside Dent Tech* 2011; 2(2). 2011;
16. Jansen CE. Understanding the Potential of Digital Intraoral and Benchtop Scanning Workflows. *Compend Contin Educ Dent*. déc 2015;36(10):726-31; quiz732.
17. Bunek SS, Brown C, Yakas ME. The Evolving Impressions of Digital Dentistry. :4.
18. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. Intraoral scanning systems - a current overview. *Int J Comput Dent*. 2015;18(2):101-29.
19. Erozan Ç, Ozan O. Evaluation of the Precision of Different Intraoral Scanner-Computer Aided Design (CAD) Software Combinations in Digital Dentistry. *Med Sci Monit*. 3 janv 2020;26:e918529.
20. Santos GC, Santos MJMC, Rizkalla AS, Madani DA, El-Mowafy O. Overview of CEREC CAD/CAM chairside system. *Gen Dent*. févr 2013;61(1):36-40; quiz 41.
21. Maestre-Ferrin L, Romero-Millan J, Penarrocha-Oltra D, Penarrocha-Diago M. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: An update. *Med Oral*. 2012;e160-3.

22. Solaberrieta E, Mínguez R, Barrenetxea L, Etxaniz O. Direct transfer of the position of digitized casts to a virtual articulator. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. juin 2013;109(6):411-4.
23. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. mai 2008;204(9):505-11.
24. Rekow ED, Erdman AG, Riley DR, Klamecki B. CAD/CAM for dental restorations--some of the curious challenges. *IEEE Trans Biomed Eng*. avr 1991;38(4):314-8.
25. Mormann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F, Gotsch T. CAD-CAM ceramic inlays and onlays: a case report after 3 years in place. *J Am Dent Assoc*. mai 1990;120(5):517-20.
26. Abduo J, Lyons K, Bennamoun M. Trends in computer-aided manufacturing in prosthodontics: a review of the available streams. *Int J Dent*. 2014;2014:783948.
27. Kanazawa M, Inokoshi M, Minakuchi S, Ohbayashi N. Trial of a CAD/CAM system for fabricating complete dentures. *Dent Mater J*. 2011;30(1):93-6.
28. The use of cutting temperature to evaluate the machinability of titanium alloys - PubMed [Internet]. [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18845491/>
29. Sindel J, Petschelt A, Grellner F, Dierken C, Greil P. Evaluation of subsurface damage in CAD/CAM machined dental ceramics. *J Mater Sci Mater Med*. mai 1998;9(5):291-5.
30. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *Journal of Prosthodontic Research*. avr 2016;60(2):72-84.
31. Webb PA. A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector. *J Med Eng Technol*. août 2000;24(4):149-53.
32. Choi SH, Chan AMM. A virtual prototyping system for rapid product development. *Computer-Aided Design*. 36(5):401-12.
33. Salmi M, Paloheimo K-S, Tuomi J, Ingman T, Mäkitie A. A digital process for additive manufacturing of occlusal splints: a clinical pilot study. *J R Soc Interface*. 6 juill 2013;10(84):20130203.
34. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. janv 2012;28(1):3-12.
35. Inokoshi M, Kanazawa M, Minakuchi S. Evaluation of a complete denture trial method applying rapid prototyping. *Dent Mater J*. 3 févr 2012;31(1):40-6.
36. Levine JB, Finkel S. Chapter 1 - Esthetic Diagnosis: A Three-Step Analysis. In: Levine JB, éditeur. *Smile Design Integrating Esthetics and Function* [Internet]. Mosby; 2016 [cité 21 nov 2021]. p. 1-42. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780723435556000011>
37. Walter RD, Goodacre BJ, Goodacre CJ, Naylor WP, Oyoyo U. A comparison of gingival display with a requested smile, Duchenne smile, grimace of disgust, and funnel-shaped expression. *J Prosthet Dent*. août 2014;112(2):220-7.
38. Coachman C, Calamita M. Digital Smile Design: A Tool for Treatment Planning and Communication in Esthetic Dentistry. :10.
39. Walder JF, Freeman K, Lipp MJ, Nicolay OF, Cisneros GJ. Photographic and videographic assessment of the smile: objective and subjective evaluations of posed and spontaneous smiles. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. déc 2013;144(6):793-801.
40. Misch CE. Guidelines for maxillary incisal edge position-a pilot study: the key is the canine. *J Prosthodont*. févr 2008;17(2):130-4.
41. Yamamoto M. The value conversion system and a new concept for expressing the shades of natural teeth. *Quint Dent Technol*. 1992;19(1):2-9.
42. Esthétique du Sourire — Les Traitements - Esthétique dentaire - Sourire - Dr Marie Clément Chirurgien Dentiste - Lyon 6eme [Internet]. Esthétique du Sourire. [cité 6 déc 2021]. Disponible sur: <http://drmarieclément.com/p996957/>
43. Street A. Previsualization - A Useful System for Truly Informed Esthetic Treatment. [Internet]. [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: [https://search.alexanderstreet.com/preview/work/bibliographic\\_entity%7Cvideo\\_work%7C1899349](https://search.alexanderstreet.com/preview/work/bibliographic_entity%7Cvideo_work%7C1899349)

44. Gurrea J, Bruguera A. Wax-up and mock-up. A guide for anterior periodontal and restorative treatments. *Int J Esthet Dent*. 2014;9(2):146-62.
45. Müller P; Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner. *Quintessence International*. 24 mars 2016;47(4):343-9.
46. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkyänen A. Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Optics and Lasers in Engineering*. mars 2014;54:203-21.
47. Taneva E. 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics | IntechOpen [Internet]. [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.intechopen.com/chapters/48165>
48. Aubreton O, Bajard A, Verney B, Truchetet F. Infrared system for 3D scanning of metallic surfaces. *Machine Vision and Applications*. oct 2013;24(7):1513-24.
49. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. CAD/CAM Ceramic Restorative Materials for Natural Teeth. *J Dent Res*. sept 2018;97(10):1082-91.
50. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. *Aust Dent J*. juin 2011;56 Suppl 1:84-96.
51. Benassar B, Raynal J, Fages M. Approche de l'esthétique en CFAO directe [Internet]. *LEFILDENTAIRE magazine dentaire*. 2015 [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/approche-de-lesthetique-en-cfao-directe/>
52. Brousseau J, Levitte B. Technique de maquillage en CFAO directe [Internet]. *LEFILDENTAIRE magazine dentaire*. 2015 [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/technique-de-maquillage-en-cfao-directe/>
53. Fages M, Gibert P, Margerit J, Valcarcel J. La CFAO, le praticien et l'enseignement à l'UFR de Montpellier [Internet]. *LEFILDENTAIRE magazine dentaire*. 2011 [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/analyse/experience/la-cfao-le-praticien-et-lenseignement-a-lufr-de-montpellier/>
54. Krejci I. Wear of CAD/CAM ceramic inlays: restorations, opposing cusps, and luting cements - PubMed [Internet]. [cité 22 nov 2021]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8008821/>
55. Ma L, Guess PC, Zhang Y. Load-bearing properties of minimal-invasive monolithic lithium disilicate and zirconia occlusal onlays: finite element and theoretical analyses. *Dent Mater*. juill 2013;29(7):742-51.
56. Marniquet S, Fron-Chabouis H, Tapie L, Attal J-P. Les matériaux usinables en dentisterie restauratrice et en prothèse fixée - Guide pratique synthétique - Archive ouverte HAL [Internet]. [cité 21 nov 2021]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01001756>
57. Awad D, Stawarczyk B, Liebermann A, Ilie N. Translucency of esthetic dental restorative CAD/CAM materials and composite resins with respect to thickness and surface roughness. *J Prosthet Dent*. juin 2015;113(6):534-40.
58. Schwindling FS, Rues S, Schmitter M. Fracture resistance of glazed, full-contour ZLS incisor crowns. *J Prosthodont Res*. juill 2017;61(3):344-9.
59. Belli R, Wendler M, de Ligny D, Cicconi MR, Petschelt A, Peterlik H, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 1: Measurement of elastic constants and microstructural characterization. *Dent Mater*. janv 2017;33(1):84-98.
60. Wendler M, Belli R, Petschelt A, Mevec D, Harrer W, Lube T, et al. Chairside CAD/CAM materials. Part 2: Flexural strength testing. *Dent Mater*. janv 2017;33(1):99-109.
61. Gehrt M, Wolfart S, Rafai N, Reich S, Edelhoff D. Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. *Clin Oral Investig*. janv 2013;17(1):275-84.
62. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümkeemann N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int*. 2017;48(5):369-80.
63. Souza R, Barbosa F, Araújo G, Miyashita E, Bottino MA, Melo R, et al. Ultrathin Monolithic Zirconia Veneers: Reality or Future? Report of a Clinical Case and One-year Follow-up. *Oper Dent*. févr 2018;43(1):3-11.
64. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater*. mai 2014;30(5):564-9.
65. Joda T, Brägger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res*. déc 2016;27(12):e185-9.

66. Burhardt L, Livas C, Kerdijk W, van der Meer WJ, Ren Y. Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* août 2016;150(2):261-7.
67. Gjelvold B, Chrcanovic BR, Korduner E-K, Collin-Bagewitz I, Kisch J. Intraoral Digital Impression Technique Compared to Conventional Impression Technique. A Randomized Clinical Trial. *J Prosthodont.* juin 2016;25(4):282-7.
68. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health.* 30 janv 2014;14:10.
69. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Rydén J, Thor A. Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method. *J Dent.* févr 2018;69:110-8.
70. Abduo J, Lyons K, Swain M. Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *J Oral Rehabil.* nov 2010;37(11):866-76.
71. Han H-S, Yang H-S, Lim H-P, Park Y-J. Marginal accuracy and internal fit of machine-milled and cast titanium crowns. *J Prosthet Dent.* sept 2011;106(3):191-7.
72. Aboushelib MN, Elmahy WA, Ghazy MH. Internal adaptation, marginal accuracy and microleakage of a pressable versus a machinable ceramic laminate veneers. *J Dent.* août 2012;40(8):670-7.
73. Bornemann G, Lemelson S, Luthardt R. Innovative method for the analysis of the internal 3D fitting accuracy of Cerec-3 crowns. *Int J Comput Dent.* juill 2002;5(2-3):177-82.
74. Örtorp A, Jönsson D, Mouhsen A, Vult von Steyern P. The fit of cobalt-chromium three-unit fixed dental prostheses fabricated with four different techniques: a comparative in vitro study. *Dent Mater.* avr 2011;27(4):356-63.
75. Rekow D, Thompson VP. Near-surface damage--a persistent problem in crowns obtained by computer-aided design and manufacturing. *Proc Inst Mech Eng H.* juill 2005;219(4):233-43.
76. Silva NRFA, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM process for dental prostheses. *J Prosthodont.* févr 2011;20(2):93-6.
77. Farley NE, Kennedy K, McGlumphy EA, Clelland NL. Split-mouth comparison of the accuracy of computer-generated and conventional surgical guides. *Int J Oral Maxillofac Implants.* avr 2013;28(2):563-72.
78. Ebert J, Ozkol E, Zeichner A, Uibel K, Weiss O, Koops U, et al. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. *J Dent Res.* juill 2009;88(7):673-6.
79. Tamodarin J. La pratique quotidienne de la CFAO en cabinet dentaire. Volume 2, Enquête épidémiologique et perspectives. 20 juin 2018;48.



## SERMENT MEDICAL

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

**ROQUES Mathieu** – Apports de la CFAO dans la réhabilitation esthétique du sourire.

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2021

Rubrique de classement : discipline odontologique de la thèse

Résumé :

Dans notre société moderne, l'esthétique du sourire occupe une place essentielle dans les relations humaines et dans l'image de soi. Sa prise en compte dans notre pratique est donc une priorité mais peut s'avérer difficile et anxiogène du fait de son approche multifactorielle et subjective. Les récentes avancées numériques dans la CFAO dentaire ont fait apparaître de nouveaux outils pour les praticiens et les prothésistes. Leur mission est de les accompagner tout au long de leur pratique, aussi bien dans le geste, l'analyse et la communication afin de répondre au mieux aux attentes esthétiques des patients. Cependant, cette transition numérique peut décourager des praticiens mal informés alors qu'elle constitue un atout considérable pour leur pratique quotidienne et finira par remplacer, tôt ou tard, les méthodes conventionnelles. L'objet de cette thèse est de montrer comment les outils de CFAO intègrent notre pratique lors de la prise en charge de cas esthétiques.

Mots clés : CFAO, Outils numériques, Esthétique, Restauration globale, Planification, Digital Smile Design

**ROQUES Mathieu** – Contributions of CAD / CAM in the aesthetic rehabilitation of the smile.

Abstract:

In our modern society, the aesthetics of the smile occupy an essential place in human relationships and in self-image. Taking it into account in our practice is therefore a priority but can prove to be difficult and anxiety-provoking due to its multifactorial and subjective approach. Recent digital advances in dental CAD / CAM have given rise to new tools for practitioners and prosthetists. Their mission is to support them throughout their practice, both in gesture, analysis, and communication to best meet the aesthetic expectations of patients. However, this digital transition can discourage ill-informed practitioners while it constitutes a considerable asset for their daily practice and will eventually replace conventional methods. The object of this thesis is to show how CAD / CAM tools integrate our practice when dealing with aesthetic cases.

Key words : CAD/CAM, Digital tools, Aesthetics, Global restoration, Planning, Digital Smile Design