

UNIVERSITÉ DE NANTES  
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE ODONTOLOGIE

Année 2020

N° 3599

**SMILE DESIGN : JUSQU'OU PEUT-ON ALLER  
AVEC LE NUMÉRIQUE ?**

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR  
EN CHIRURGIE DENTAIRE

*Présentée et soutenue publiquement par*

**Julie FERLAY**

Née le 07/04/1992

Le 28/01/2020 devant le jury ci-dessous :

Président : Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ

Assesseur : Madame le Docteur Fabienne JORDANA

Assesseur : Monsieur le Docteur Erwan FREUCHET

Invité : Monsieur le Docteur Édouard LANOISELEE

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur François BODIC

<b>UNIVERSITE DE NANTES</b>	
<u>Président</u> <b>Pr LABOUX Olivier</b>	
	
<b>FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE</b>	
<u>Doyen</u> <b>Pr GIUMELLI Bernard</b>	
<u>Assesseurs</u> Dr RENAUDIN Stéphane Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre	
	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	
Mme ALLIOT-LICHT Brigitte	M. LESCLOUS Philippe
M. AMOURIQ Yves	Mme PEREZ Fabienne
M. BADRAN Zahi	M. SOUEIDAN Assem
M. GIUMELLI Bernard	M. WEISS Pierre
M. LE GUEHENNEC Laurent	
<b>PROFESSEURS DES UNIVERSITES</b>	
M. BOULER Jean-Michel	
<b>MAITRE DE CONFERENCES DES UNIVERSITES</b>	
Mme VINATIER Claire	
<b>PROFESSEURS EMERITES</b>	
M. JEAN Alain	
<b>ENSEIGNANTS ASSOCIES</b>	
M. GUIHARD Pierre (Professeur Associé)	Mme LOLAH Aoula (Assistant Associé)
<b>MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES C.S.E.R.D.</b>	<b>ASSISTANTS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES DES C.S.E.R.D.</b>
M. AMADOR DEL VALLE Gilles	M. ALLIOT Charles
Mme ARMENGOL Valérie	M. AUBEUX Davy
Mme BLERY Pauline	Mme ARRONDEAU Mathilde
M. BODIC François	Mme BARON Charlotte
Mme CLOITRE Alexandra	Mme BEAURAIN-ASQUIER Mathilde
Mme DAJEAN-TRUTAUD Sylvie	M. BOUCHET Xavier
M. DENIS Frédéric	M. FREUCHET Erwan
Mme ENKEL Bénédicte	M. GUIAS Charles
M. GAUDIN Alexis	Mme HASCOET Emilie
M. HOORNAERT Alain	M. HIBON Charles
Mme HOUCHMAND-CUNY Madline	M. HUGUET Grégoire
Mme JORDANA Fabienne	M. KERIBIN Pierre
M. KIMAKHE Saïd	M. OUVRARD Pierre
M. LE BARS Pierre	M. RETHORE Gildas
Mme LOPEZ-CAZAUX Serena	M. SARKISSIAN Louis-Emmanuel
M. NIVET Marc-Henri	M. SERISIER Samuel
M. PRUD'HOMME Tony	
Mme RENARD Emmanuelle	
M. RENAUDIN Stéphane	
Mme ROY Elisabeth	
M. STRUILLOU Xavier	
M. VERNER Christian	
<b>PRATICIENS HOSPITALIERS</b>	
Mme DUPAS Cécile (Praticien Hospitalier)	Mme QUINSAT Victoire (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme BRAY Estelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme RICHARD Catherine (Praticien Hospitalier Attaché)
Mme LEROUXEL Emmanuelle (Praticien Hospitalier Attaché)	Mme HYON Isabelle (Praticien Hospitalier Contractuel)

10/12/2019

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.**

## **Remerciements**

**A Monsieur le Professeur Yves AMOURIQ,**

Professeur des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins d'Enseignement et de  
Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Habilité à Diriger les Recherches

Département de Prothèses

Chef de Service d'Odontologie Restauratrice et Chirurgicale

- NANTES -

*Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury,*

*Pour la qualité et la rigueur de vos enseignements tout au long de mon cursus,*

*Veillez trouver dans ce travail le témoignage de mon estime et de ma reconnaissance.*

**A Monsieur le Docteur François BODIC,**

Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier des Centres de Soins

d'Enseignement et de Recherches Dentaires

Docteur de l'Université de Nantes

Département de Prothèses

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse,*

*Pour m'avoir guidé dans le choix de ce sujet,*

*Pour m'avoir donné l'envie de me former dans le domaine de l'esthétique,*

*Veillez trouver dans ce travail le témoignage de mon estime et de ma reconnaissance.*

**A Madame le Docteur Fabienne JORDANA**

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier des Centres de Soins  
d'Enseignement et de Recherche Dentaires

Docteur de l'Université de Bordeaux

Département de Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques, Biomatériaux,  
Biophysique, Radiologie

- NANTES -

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury de thèse,  
Pour la qualité de vos enseignements et de votre pédagogie,  
Pour votre aide et votre soutien au cours des vacances cliniques,*

*Veillez accepter mes remerciements les plus sincères.*

**A Monsieur le Docteur Erwan FREUCHET,**

Assistant Hospitalier Universitaire des Centres de Soins d'Enseignement et de Recherche

Dentaires

Département de Prothèses

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur de siéger dans ce jury de thèse,*

*Pour la qualité de votre enseignement au cours des travaux pratiques,*

*Veillez accepter mes remerciements les plus sincères.*

**A Monsieur le Docteur Édouard LANOISELEE,**

Docteur en Chirurgie Dentaire

Ancien Assistant Hospitalo Universitaire des Centres de Soins, d'Enseignement et de  
Recherches Dentaires

**- NANTES -**

*Pour m'avoir fait l'honneur de co-diriger cette thèse,*

*Pour votre disponibilité ainsi que votre aide à chaque étape de ce travail,*

*Veillez trouver dans ce travail le témoignage de mon estime et de ma reconnaissance.*

# Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>13</b>
<b>I. Numérique et Smile Design.....</b>	<b>15</b>
<b>1. Le numérique au service de la dentisterie .....</b>	<b>15</b>
1.1. La Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur (CFAO) .....	15
1.2. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) .....	15
1.3. La Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO) .....	17
1.3.1. La FAO par addition ou « additive manufacturing » .....	17
1.3.2. La FAO par soustraction ou « subtractive manufacturing » .....	18
1.4. Les différents types de CFAO.....	20
1.5. Avantages et inconvénients de la CFAO .....	21
1.6. Domaines d'applications de la CFAO .....	22
1.6.1. Prothèse fixée conventionnelle .....	22
1.6.2. Prothèse collée .....	22
1.6.3. Prothèse supra-implantaire .....	22
1.6.4. Prothèse amovible .....	22
1.6.5. Orthopédie dento-faciale .....	23
1.6.6. Chirurgie maxillo-faciale .....	23
<b>2. Le Smile Design .....</b>	<b>24</b>
2.1. Généralités .....	24
2.2. Le Smile Design en 2D.....	24
2.2.1. Photographies.....	24
2.2.2. Lignes de références .....	25
2.2.2.1. Références horizontales.....	25
2.2.2.2. Références verticales .....	25
2.2.2.3. Références sagittales.....	25
2.2.3. Protocole .....	26
2.2.3.1. Tracé des lignes de références .....	26
2.2.3.2. Positionnement des images : le « Digital facebow » .....	26
2.2.3.3. Analyse du sourire.....	27
2.2.3.4. Simulation du sourire .....	27
2.2.3.5. Transfert des lignes de références sur les photos endobuccales.....	28
2.2.3.6. Mesure de la proportion de dents .....	28
2.2.3.7. Tracé des contours dentaires .....	29
2.2.3.8. Évaluation esthétique des dents et des tissus mous.....	29
2.2.3.9. Calibrage de la règle numérique .....	30
2.2.3.10. Transfert des lignes de références sur un modèle en plâtre.....	31
2.3. Evolution du Smile Design : de la 2D à la 3D .....	32
2.4. Le Smile Design « tout numérique ».....	33
2.4.1. Réalisation de vidéos extra et intra-orales .....	33
2.4.1.1. Vidéos techniques .....	34
2.4.1.2. Vidéos complémentaires.....	36
2.4.2. Patient virtuel en 3D .....	37
2.4.3. Scanner intra-oral .....	38
2.4.4. Scanner extra-oral .....	40
2.4.5. Alignement des objets numériques .....	40
2.4.5.1. Méthode directe .....	40
2.4.5.2. Méthode indirecte .....	41
2.4.6. Avantages et inconvénients du Smile Design en 3D .....	42

<b>II. Analyse de la littérature .....</b>	<b>43</b>
<b>1. Bibliométrie .....</b>	<b>43</b>
<b>2. Matériels et Méthodes.....</b>	<b>44</b>
<b>3. Revue systématique.....</b>	<b>49</b>
<b>4. Étude rétrospective.....</b>	<b>50</b>
<b>5. Rapports d'études cliniques .....</b>	<b>51</b>
<b>6. Discussion .....</b>	<b>56</b>
6.1. Quels sont les domaines prédominants ? .....	56
6.2. Comment expliquer le faible niveau de preuve ? .....	57
6.3. La communication patient/praticien/prothésiste .....	57
6.4. Quel avenir pour le Smile Design ? .....	58
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>60</b>
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>64</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>66</b>

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

- 2D : Deux Dimensions
- 3D : Trois Dimensions
- 4D : Quatre Dimensions
- CAO : Conception Assistée par Ordinateur
- CBCT : Cone Beam Computed Tomography
- CFAO : Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur
- CJP : Colour-Jet Printing
- CoCr : alliage de Cobalt et de Chrome
- DICOM : Digital Imaging Communications in Medicine
- DMLS : Direct Metal Laser Sintering
- DSD : Digital Smile Design
- DSLR : Digital Single Lens Reflex
- EBM : Electron Beam Melting
- EOS : Extra-Oral Scanner
- FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur
- FDM : Fused Deposition Modelling
- HAS : Haute Autorité de Santé
- IJP : Ink Jet Printing
- IOS : Intra-Oral Scanner
- JPEG : Joint Photographic Experts Group
- LOM : Laminated Object Manufacturing
- MJP : Multi-Jet Printing
- PJP : Polyjet 3D Printing
- PLY : Polygone File Format
- PMMA : PolyMéthAcrylate de Méthyl
- SLA : Stereolithography
- SLS : Selective Laser Sintering
- STL : Standard Tessellation Language

# INTRODUCTION

Notre place au sein de la société, et l'image que l'on renvoi, représente aujourd'hui une préoccupation majeure dans notre vie quotidienne. L'apparence a toujours préoccupé les Hommes et l'émergence des réseaux sociaux accentue ce rapport au corps. Le physique est généralement le premier élément évalué lorsque que l'on croise une personne. Au niveau du visage, notre attention sera portée sur le sourire.

La chirurgie esthétique est pratiquée depuis la nuit des temps et a connu un essor à la fin de la première guerre mondiale. Destinée à réparer les blessures graves des soldats défigurés, elle évoluera dans les années 50 où le but sera alors d'améliorer l'apparence physique. Le culte du « corps parfait » est aujourd'hui ancré dans la société et entraîne une demande importante de la part des patients d'avoir recours à la chirurgie esthétique.

Dans le cadre de la dentisterie, l'esthétique est un domaine en plein essor dont le but est de répondre à la volonté des patients souhaitant améliorer leur sourire. Cependant, qu'est-ce qu'un « beau sourire » ? La beauté étant subjective, elle sera perçue différemment d'une personne à l'autre ; les standards de la beauté seront également variables selon les pays. Chaque sourire est unique et malgré les dictats imposés par la société, le praticien devra réaliser un nouveau sourire en harmonie avec le visage. La forte demande esthétique oblige les praticiens à s'adapter et se former aux dernières techniques. Le développement du numérique a permis de faire émerger un nouveau concept : le Digital Smile Design® (DSD). Mis en place par le Dr Coachman au début des années 2000, il est utilisé dans le monde entier et permet de modifier le sourire d'un patient en se basant sur des photographies.

Le Smile Design (ou design du sourire) se réfère aux nombreux principes scientifiques et artistiques pris en compte collectivement pour créer un « beau » sourire. Lors de la planification d'un traitement pour des cas esthétiques, la conception du sourire ne peut être isolée d'une approche globale des soins aux patients. (1)

Ce concept de Smile Design a suivi la mouvance de l'évolution numérique. Ainsi, le principe initial consistant à dessiner un sourire sur les photographies 2D du patient s'est transformé en la création d'un patient virtuel 3D. Entre les deux, l'avènement des scanners intra-oraux et extra-oraux permettait d'ores et déjà un accès à la 3D : l'acquisition numérique des arcades dentaires étaient alors superposées sur les photographies.

Il est aujourd'hui possible de réaliser des plans de traitements entièrement numériques appelés le « digital work-flow ».

Dans une première partie, nous commencerons par définir la conception et la fabrication assistées par ordinateur (CFAO), son utilisation en dentisterie ainsi que ses différents domaines d'applications. Ensuite, nous décrirons le concept de Smile Design, depuis son invention jusqu'à aujourd'hui et nous étudierons ses principes d'utilisation ainsi que ses évolutions liées au numérique.

Une deuxième partie sera consacrée à une analyse de la littérature afin de réaliser un état des lieux des derniers articles à notre disposition traitant du Smile Design en trois dimensions. Nous chercherons à savoir où nous en sommes concernant le Smile Design, s'il existe un consensus quant à son utilisation et si des évolutions sont encore réalisables.

# I. Numérique et Smile Design

## 1. Le numérique au service de la dentisterie

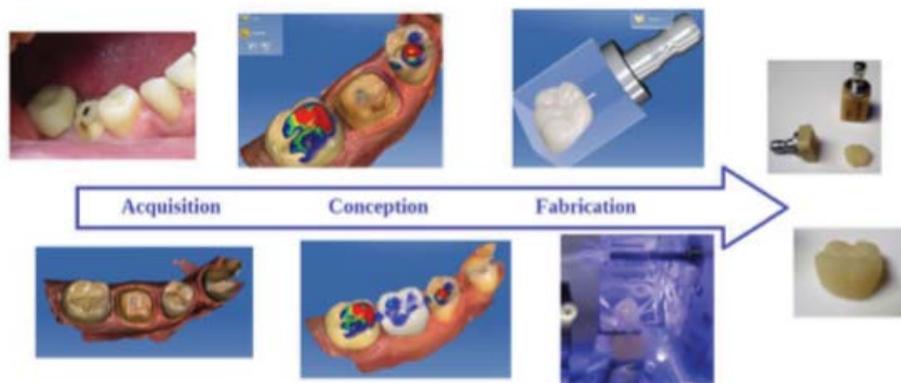
### 1.1. La Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur (CFAO)

L'acronyme CFAO signifie : « Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur ». Dans la littérature anglaise on identifie ce terme sous l'acronyme CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing).

Ce terme CFAO regroupe deux concepts que sont la conception assistée par ordinateur (CAO) ainsi que la fabrication assistée par ordinateur (FAO).

La réalisation d'une prothèse dentaire par technique de CFAO se compose de trois étapes qui constituent ce qu'on appelle une « chaîne numérique » :

- L'empreinte optique (acquisition numérique en trois dimensions des arcades dentaires)
- La conception assistée par ordinateur : C.A.O
- La fabrication assistée par ordinateur : F.A.O



*Figure 1 : Les étapes de la CFAO (2)*

### 1.2. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO) (3,4)

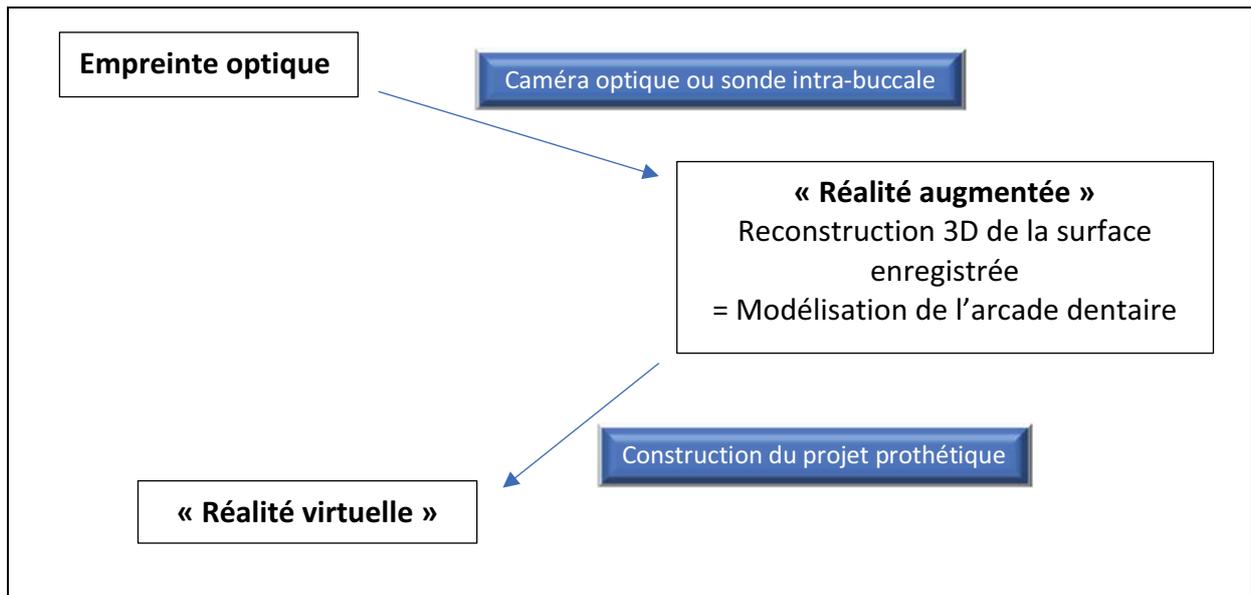
Dans le cadre de l'exercice dentaire, trois types de structures différentes permettent la numérisation des arcades dentaires :

- Soit directement en intra-buccal, sur les tissus dentaires et parodontaux ;
- Soit sur une empreinte surfacique « négative » c'est-à-dire réalisée avec des matériaux à empreinte conventionnels ;
- Soit sur un « modèle positif coulé » (unitaire ou global)

Lors d'une empreinte directe, cette étape de conception sera réalisée au cabinet, alors que pour les deux derniers cas la numérisation aura lieu dans un laboratoire de prothèse.

La CAO est une étape capitale dans la validation de la qualité de la préparation périphérique ainsi que la qualité de l’empreinte optique. Le praticien doit déterminer deux points clefs : la limite cervicale de la préparation, de même que l’axe d’insertion de la future pièce prothétique.

Les patients semblent plus enclins à la technique d’empreinte numérique pour des raisons de confort, de rapidité d’enregistrement mais également pour le côté innovant ; comparativement à la prise d’empreinte conventionnelle avec un hydrocolloïde (Alginate®). (5)



*Figure 2 : Les principes de la Conception Assistée par Ordinateur (CAO)*

Le temps de scannage est variable selon le scanner intra-oral utilisé. Ce temps est également praticien-dépendant et lié à la situation clinique.

Pour un sextant, le temps de scannage est généralement inférieur à une minute. Pour une arcade complète, le temps est très variable selon le scanner : il peut être inférieur à une minute pour le plus rapide, et supérieur à 6 minutes pour le moins rapide (**Tableau 1**).



*Figure 3 : Illustration d'une prise d'empreinte numérique intrabuccale (6)*

Une étude de 2017 réalisée par Renne et al. (7) donne une liste non exhaustive de scanners intra-oraux avec leurs temps de scannage :

	<b>Temps de scannage</b>	
	<i>Sextant</i>	<i>Arcade complète</i>
CEREC Omnican	0:15	0:47
3Shape Trios 3	0:32	2:10
Planscan	0:47	2:45
CEREC Bluecam	0:23	1:40
Carestream 3500	0:50	4:44
iTero	2:30	6:04

**Tableau 1** : Temps de scannage (minutes:secondes) de différents scanners intra-oraux d'après les données d'une étude comparative de Renne et al.

### 1.3. La Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

La FAO constitue la phase finale de la CFAO. Cette étape consiste en la réalisation de la pièce prothétique (3). Deux techniques peuvent être employées : la FAO par addition ou la FAO par soustraction.

#### 1.3.1. La FAO par addition ou « additive manufacturing »

Le principe fondamental de la fabrication par addition est de créer, par superposition de couches de matériau, un modèle physique en trois dimensions correspondant au modèle réalisé lors de l'étape précédente de CAO (8). Certains auteurs qualifient cette technique de 3<sup>ème</sup> révolution industrielle (9).

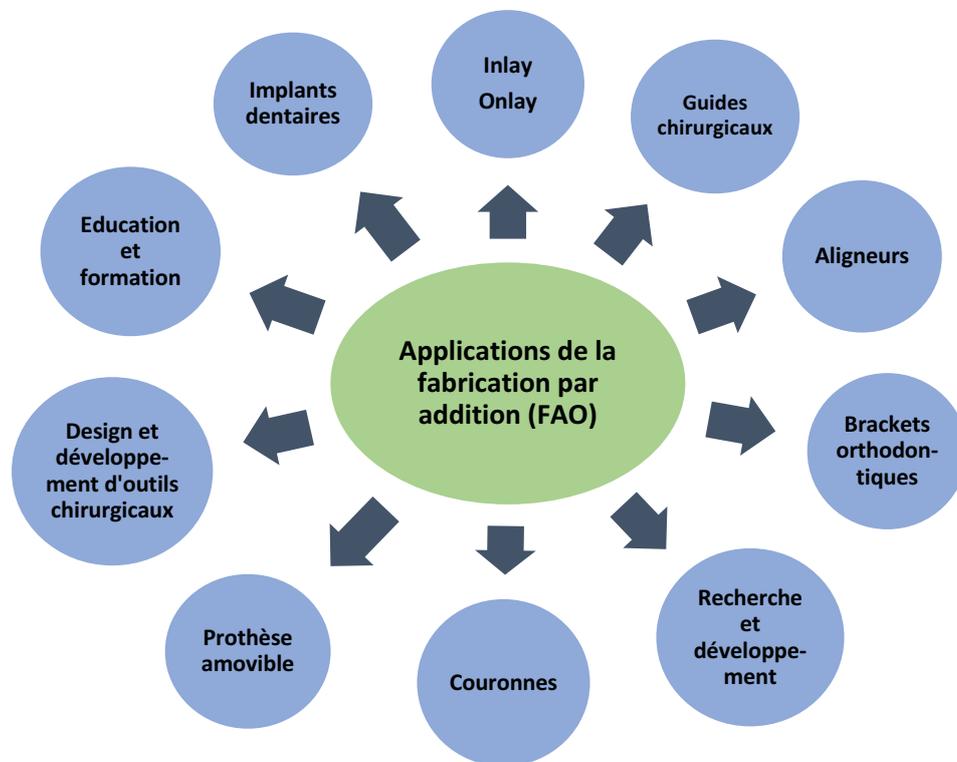
Le principe de fabrication par addition fût introduit par Charles HULL en 1986. La mouvance actuelle est à ce procédé qui tend à remplacer peu à peu la technique de fabrication par soustraction (10).

Plusieurs procédés sont employés selon le matériau utilisé (8) :

- La stéréolithographie (SLA)\*
- Le frittage sélectif par laser (SLS)\*
- L'impression par dépôt de matière fondue (FDM)
- Le frittage laser direct de métal (DMLS)
- L'impression 3D par jet de matière (PJP)
- L'impression par jet d'encre (IJP)
- La fabrication d'objet par laminage (LOM)
- Le dépôt d'encre couleur sur un lit de poudre céramique (CJP)
- La fusion par faisceau d'électrons (EBM)
- L'impression multijet (MJP)

Dans le domaine de la dentisterie numérique, seuls la stéréolithographie (SLA) et le frittage sélectif par laser (SLS) sont pratiqués.

La technique de fabrication par addition peut être appliquée de multiples façons dans le domaine de la dentisterie (8) :



*Figure 4 : Les différentes applications de la FAO par addition en dentisterie*

### 1.3.2. La FAO par soustraction ou « subtractive manufacturing »

A contrario de la technique de fabrication par addition où le nombre de publications ne cesse d'augmenter depuis 2016 (8), on retrouve peu de littérature décrivant la technique de fabrication par soustraction bien que ce soit à l'heure actuelle la technique la plus utilisée en CFAO.

Avec ce procédé, la pièce prothétique est taillée par usure et/ou par coupe dans un bloc de polymères (11). Les fraises utilisées seront différentes selon la pièce usinée et seront contrôlées par informatique.

Une propriété importante de la FAO par soustraction est l'usinabilité. Bien qu'il n'existe pas de consensus quant à sa définition, il est néanmoins possible de définir l'usinabilité « comme l'aptitude de la matière d'une pièce à subir une opération d'enlèvement de matière » (12).

Selon que cette technique soit réalisée au cabinet ou en laboratoire de prothèse, la pièce prothétique sera usinée respectivement dans un bloc ou dans une galette.

Le matériau majoritairement exploité est la céramique mais il est également possible d'usiner du métal tel que le CoCr ou le Titane. Dans tous les cas, le principal inconvénient de cette fabrication par soustraction est la perte de matériau.



**Figure 5** : a. Blocs de céramique (13) – b. Disque de PMMA (14)

Pour résumé, les avantages et les inconvénients de chaque technique de fabrication assistée par ordinateur sont récapitulés dans le tableau ci-dessous (10,15,16) :

	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
FAO par addition	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu de perte de matériau</li> <li>- Production rapide</li> <li>- Possibilité de créer des pièces complexes (type châssis métallique pour prothèse amovible), notamment grâce à la passivité de cette technique</li> <li>- Faible consommation d'énergie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La délimitation entre les couches est visible</li> <li>- Peu indiquée dans le cadre de la Zirconie</li> <li>- Technique en cours d'évolution dans le domaine dentaire</li> </ul>
FAO par soustraction	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de réaliser un nombre important de couronnes/bridges en une seule fois au laboratoire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perte importante de matériau</li> <li>- Le matériau ayant été modifié lors de l'usinage il n'est pas possible de le réutiliser</li> <li>- Réalisation de pièces simples (type couronnes, bridges)</li> </ul>

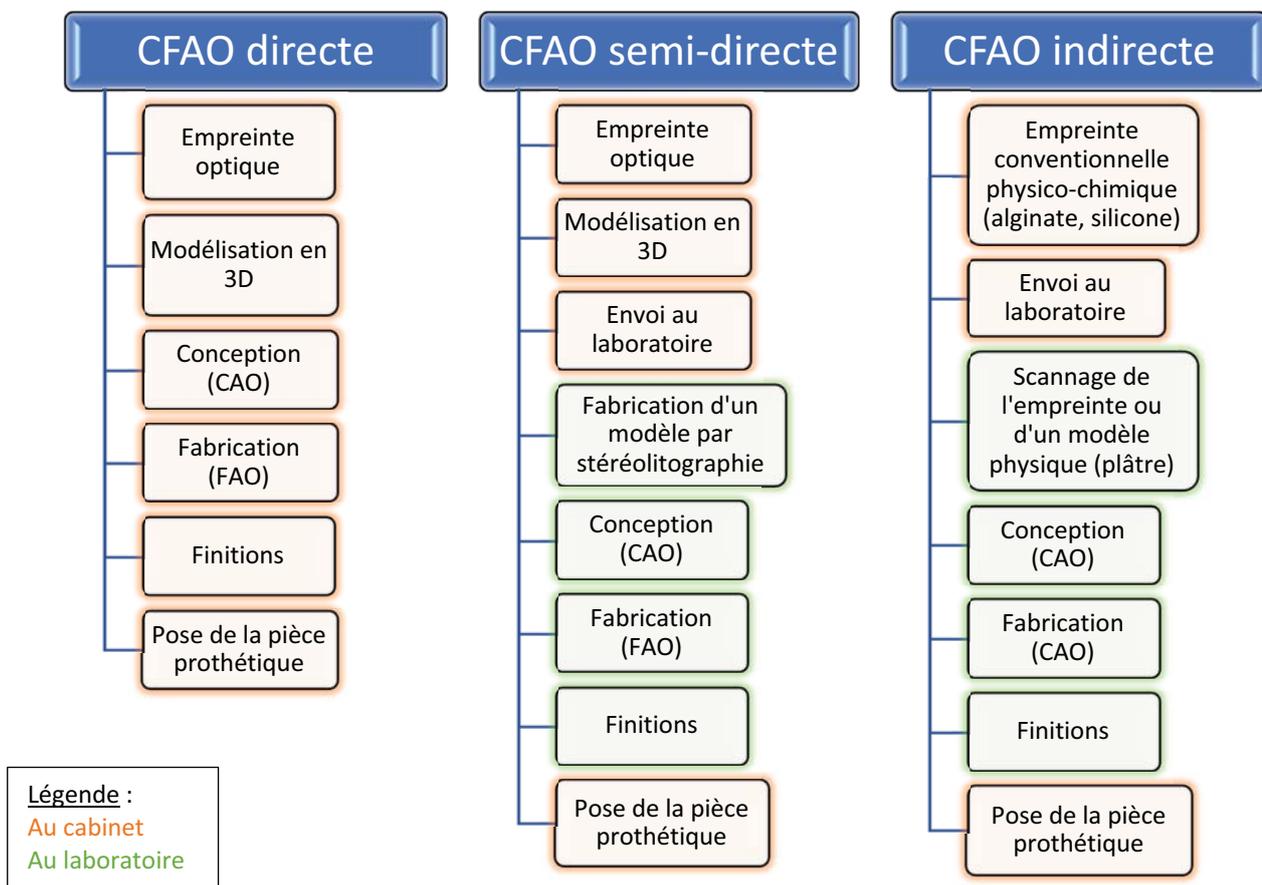
**Tableau 2** : Avantages et inconvénients des deux techniques de Fabrication Assistée par Ordinateur (FAO)

#### 1.4. Les différents types de CFAO (17–20)

La technique de CFAO peut être directe, semi-directe ou indirecte.

- **CFAO directe** : le chirurgien-dentiste réalise toutes les étapes. Il numérise les arcades au fauteuil puis réalise la conception et la fabrication de la pièce prothétique. La restauration est faite dans la même séance, directement au cabinet.
- **CFAO indirecte ou semi-directe** : le chirurgien-dentiste envoie ses empreintes, aussi bien conventionnelles (méthode indirecte) que numériques (méthode semi-directe), au laboratoire. Puis c'est le prothésiste qui réalise la restauration prothétique par technique de CFAO.

La CFAO semi-directe ou indirecte est principalement utilisée dans des cas de restaurations esthétiques complexes nécessitant l'intervention d'un prothésiste.



**Figure 6 :** Organigramme récapitulatif des trois types de CFAO

### 1.5. Avantages et inconvénients de la CFAO (3,4)

AVANTAGES	INCON
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très <u>précis</u> (15 à 30 microns)</li> <li>• <u>Pas de déformation</u> possible car pas de manipulation ni de désinfection de l’empreinte, contrairement à une empreinte conventionnelle.</li> <li>• Empreinte <u>inaltérable</u> : stockage sous format numérique             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conservation sans limite de temps</li> <li>- Supports réduits : clefs USB, disques durs → archivage non encombrant</li> </ul> </li> <li>• <u>Intérêt médico-légal</u> : présence de modèles virtuels du patient dans un dossier médical numérisé utilisable par des professionnels de santé.</li> <li>• Empreinte <u>ergonomique</u> :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Pour le praticien</b> :                 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Procédures d’acquisition courtes.</li> <li>○ Positions de travail correctes car pas de vision directe en bouche, le praticien réalise le scannage en regardant l’écran face à lui.</li> </ul> </li> <li>- <b>Pour le patient</b> :                 <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Procédures d’acquisition courtes.</li> <li>○ Peu contraignant comparativement à une empreinte conventionnelle, pas de réflexes nauséeux ni de sensation d’étouffement.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• <u>Favorise la communication</u> avec le patient qui est souvent intrigué par cette technique.</li> <li>• <u>Gain de temps</u> : à la fois par la prise d’empreinte elle-même mais aussi, dans le cadre d’une CFAO directe, par la réalisation de la prothèse au cabinet dans la journée ce qui évite le déplacement du patient et la gestion d’une couronne provisoire.</li> <li>• <u>Clarification des rapports praticien/prothésiste</u> : la qualité de l’empreinte et son exploitabilité ne sont plus discutables. Communication en temps réel grâce à la transmission des données via Internet.</li> <li>• Éradication du vecteur de contamination infectieuse</li> <li>• Qualités <u>écologiques</u> : évite l’utilisation de consommables ainsi que le transport physique des empreintes (coursiers → véhicules → conséquences environnementales).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Investissement</u> : le passage à un syst négligeable.</li> <li>• <u>Maîtrise de la mise en condition tiss</u> précision de l’enregistrement, les ac impeccablement visibles. La présence de liquides biologiques empêche une lecture correcte des lin</li> <li>• Certains systèmes d’<u>empreinte optiq</u> travailler avec le même fabricant aus que pour la confection de la pièce pr l’obligation d’acheter les matériels,</li> <li>• <u>Courbe d’apprentissage</u> plus ou moi</li> <li>• Rôle professionnel supplémentaire d’<u>virtuel</u>. En effet, le praticien ne se li l’empreinte, il doit également réalis au prothésiste. Dans le cadre de la CFAO directe, le prothétique sur l’ordinateur et ensuit</li> </ul>

**Tableau 3** : Avantages et inconvénients de la CFAO

## 1.6. Domaines d'applications de la CFAO

### 1.6.1. Prothèse fixée conventionnelle (3,20,21)

L'empreinte optique permet la réalisation de prothèses aussi bien unitaire que plurale. Couronnes, endo-couronnes, bridges, facettes mais également inlay-core peuvent être fabriqués puis usinés grâce à la technique de CFAO.

François DURET est l'auteur de la première couronne réalisée et conçue par technique de CFAO, en 1985. Le premier bridge (de trois éléments) sera usiné 4 ans plus tard, en 1989. (22)

### 1.6.2. Prothèse collée

Dans les années 80, seul l'intrados des inlay/onlay était usiné et la surface occlusale devait être réalisée en bouche, à la main (22).

De nos jours, l'entièreté de la pièce est modélisée puis usinée par technique de CFAO.

### 1.6.3. Prothèse supra-implantaire (3,23)

L'empreinte optique dans le domaine de l'implantologie a révolutionné cette discipline et est aujourd'hui ancrée dans la pratique de la dentisterie moderne.

Grâce à la CFAO, toutes les étapes nécessaires à la confection d'une prothèse implanto-portée sont réalisables de manière numérique. C'est ce qu'on appelle le « full digital workflow ».

Le praticien mettra en place des systèmes de transfert, appelés « scan body », permettant d'enregistrer le positionnement et l'axe de l'implant. Le « scan body » est vissé sur le col implantaire puis on réalise une radiographie de contrôle afin de vérifier la bonne assise de cette pièce avant de procéder à l'empreinte optique.

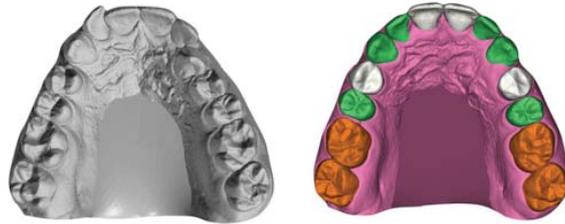
### 1.6.4. Prothèse amovible (24-26)

La CFAO est en cours d'évolution dans le domaine de la prothèse amovible, elle est le dernier type de prothèse à être passée au numérique. Ce système est en effet encore peu développé au sein de l'exercice quotidien des praticiens.

Les technologies disponibles à ce jour présentent des limites dans certains cas de prothèse amovible tel qu'une classe III de Kennedy. Autre problème significatif, la dépressibilité des muqueuses ne peut être enregistrée. Il faudra donc à la fois réaliser une empreinte optique puis une empreinte conventionnelle physico-chimique, sur le porte-empreinte individuel usiné en amont grâce à l'empreinte numérique initiale (les bourrelets d'occlusion peuvent également être usinés par technique de FAO).

### 1.6.5. Orthopédie dento-faciale

« The better Smile Designer we become the more we see the benefits of orthodontics in our restorative case », Christian Coachman.



*Figure 7 : Modélisation des arcades maxillaires par empreinte optique, avant et après traitement Invisalign® (28)*

Le concept de Smile Design est de plus en plus utilisé dans le domaine de l'orthodontie. Par exemple, dans le cadre du DSD mis en place par le Dr Coachman, le logiciel indique de manière précise la localisation finale des dents qu'il faudra déplacer grâce à un code couleur (**Figure 7**):

- Orange : ne bouge pas
- Blanc : bouge + restauration
- Vert : bouge sans restauration
- Bleu : restauration sans mouvement

### 1.6.6. Chirurgie maxillo-faciale (26)

Suite à une chirurgie ou un traitement de radiothérapie, certains patients se retrouvent atteints d'une limitation d'ouverture buccale (LOB), à caractère irréversible. Il est alors délicat, voire impossible, de réaliser des empreintes conventionnelles. L'avènement de la CFAO a rendu possible la réalisation d'empreintes optiques chez ces patients et a donc permis une réhabilitation prothétique, jusque-là inenvisageable via la méthode conventionnelle.

Il est même parfois plausible de réaliser des obturateurs (29).

Les empreintes optiques sont d'autant plus indiquées lorsque le patient présente un réflexe nauséux important. Par ailleurs, les muqueuses irradiées sont plus fragiles et plus sensibles dues à une hyposialie, conséquence d'une irradiation au niveau de la sphère oro-buccale. Les empreintes physico-chimiques sont alors inconfortables, aussi bien de par la compression du porte-empreinte sur les muqueuses que du matériau à empreinte lui-même, pouvant provoquer une sensation de brûlures.

## 2. Le Smile Design (30,31)

### 2.1. Généralités

Le Digital Smile Design (DSD) a été développé au Brésil par Christian Coachmann, à la fois chirurgien-dentiste et prothésiste, ainsi que par Livio Yoshinoga, architecte (32).

Le développement de ce concept commença en 2007 et ne cesse d'évoluer depuis (33).

Le DSD est un outil, une méthodologie numérique. Il permet de simuler le résultat final grâce à une analyse statique mais également dynamique du patient. Pour cela, la réalisation de photographies extra-orales, intra-orales ainsi que des vidéos seront réalisées par le praticien au sein du cabinet.

Le DSD peut être utilisé comme outil marketing dans le but de motiver le patient à accepter le plan traitement, mais aussi comme outil éducatif. En effet, il sera plus aisé d'expliquer au patient en montrant les photographies, en exposant les éventuelles difficultés ou encore en dévoilant le résultat final. On peut également se servir du DSD comme outil d'évaluation car les photographies permettront une comparaison avant/après du cas en lui-même mais également une comparaison des cas entre eux. Ainsi, le praticien peut présenter de multiples possibilités de traitements avec les résultats finaux.

Dans la pratique moderne de la dentisterie, de plus en plus de patients sont demandeurs de traitement à visée esthétique. Il est donc essentiel de leur fournir une analyse esthétique regroupant les points clefs fondamentaux suivant : étude du visage, des dents ainsi que des tissus mous. L'étude de la face étant l'analyse la plus importante car elle servira de ligne directrice pour déterminer la forme et la proportion des dents (34).

### 2.2. Le Smile Design en 2D

L'utilisation du Smile Design en 2D ne nécessite pas de logiciels particuliers et fonctionne aussi bien sur Keynote (Apple) que PowerPoint (Microsoft).

#### 2.2.1. Photographies

Le gold-standard pour la réalisation de photographies est un appareil photo réflex numérique (DSLR). Il est également possible de réaliser les photographies à l'aide d'un smartphone mais la qualité sera moindre. Voici une liste non exhaustive des photographies à réaliser :

##### Photographies extra-buccales :

- Visage en entier
  - au repos
  - avec un sourire  
« normal » puis forcé
- Visage de profil
- Vue à 45°

##### Photographies intra-buccales :

- De face
- Vue occlusale de l'arcade maxillaire
- Vue occlusale de l'arcade mandibulaire

Plus le praticien a de photographies à sa disposition, plus l'analyse et la réalisation du Smile Design sera précise.

Lors de la réalisation des clichés, il sera important que le patient regarde bien face à lui et fixe l'objectif de l'appareil photo car les pupilles serviront de points de références pour notre analyse esthétique (35).

## 2.2.2. Lignes de références (36)

### 2.2.2.1. Références horizontales

- **Ligne bipupillaire** : ligne passant par les pupilles des deux yeux. Le plan incisif ainsi que le contour gingival des dents maxillaires doivent être parallèles à cette ligne bipupillaire afin d'avoir une harmonie du visage lorsque le patient sourit.
- **Contour labial** : l'exposition des dents au repos, lors du sourire, ou encore lors de la parole, dépend de la longueur et de la courbure des lèvres. Sachant que ce facteur est différent en fonction du sexe du patient mais également fonction de l'âge.
  - Le contour de la lèvre supérieure permet d'évaluer la longueur des incisives centrales visibles au repos et lors du sourire
  - Le contour de la lèvre inférieure permet d'évaluer la courbure du plan incisif et la position des bords incisifs maxillaire.

### 2.2.2.2. Références verticales

- **Ligne sagittale médiane** : ligne perpendiculaire à la ligne bipupillaire, qui divise le visage en deux parties symétriques. Cette ligne passe au niveau du milieu inter-incisif.

### 2.2.2.3. Références sagittales

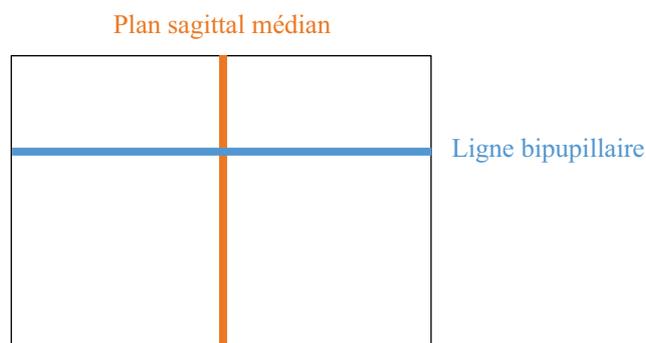
- **Soutien de la lèvre supérieure** : le soutien est notamment dû à la position des dents maxillaires.
- **Rapport avec la lèvre inférieure** : le bord libre des incisives maxillaires doit être en contact avec la ligne vermillon de la lèvre inférieure (bord interne) et non avec le bord cutané. Le rapport entre ces deux éléments sert de guide à la position et à la longueur des futures incisives prothétiques.
- **Plan d'occlusion** : il regroupe la courbe de Spee, la courbe de Wilson ainsi que la courbe des bords incisifs (c'est-à-dire le plan incisif). Le plan d'occlusion est défini lorsque les dents maxillaires et mandibulaires sont en contact.

### 2.2.3. Protocole(31,37)

La construction du sourire, guidée par le concept de Digital Smile Design® en 2D, se compose de dix étapes.

#### 2.2.3.1. Tracé des lignes de références

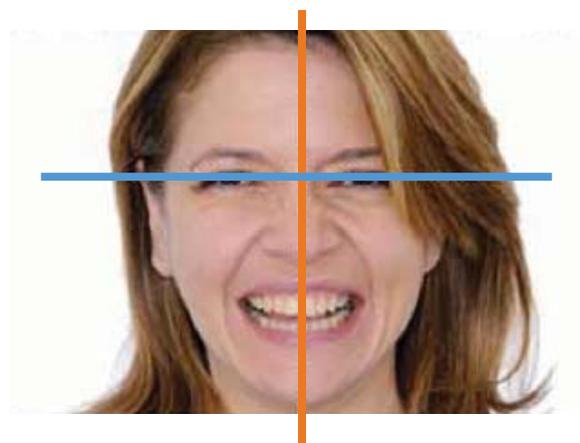
Tout d'abord, dessiner une ligne horizontale et une ligne verticale qui se croisent, formant alors une croix que l'on vient placer au milieu de la slide de présentation (*Keynote, Apple Inc* ou *PowerPoint, Microsoft Corp*). La photographie du visage entier, ainsi que la photographie du sourire uniquement, seront ensuite positionnées en arrière-plan de ces lignes.



**Figure 8** : Lignes de références

#### 2.2.3.2. Positionnement des images : le « Digital facebow »

C'est l'étape la plus importante du procédé de DSD. Elle consiste à relier la photo du visage entier avec les lignes de références. Premièrement, il faut établir la ligne bipupillaire qui représentera le plan horizontal. Ensuite, la ligne représentant le plan sagittal médian est tracée en passant par la glabella, le nez et le menton.



**Figure 9** : Positionnement des lignes de référence sur la photographie exobuccale – Le "Digital Facebow"

#### 2.2.3.3. Analyse du sourire

Lors de cette étape il faut transférer la croix établie précédemment sur la photographie du sourire. Cela permet alors d'analyser les rapports entre les lignes de références et les lèvres, les dents ainsi que la gencive.

De plus, le fait de superposer les lignes de références et les photographies permet au praticien de zoomer sur l'image sans perdre la situation des lignes par rapport au visage.



*Figure 10 : Transfert des lignes de références sur la photographie endobuccale*

#### 2.2.3.4. Simulation du sourire

Des simulations sont réalisées où l'on peut modifier la position du bord libre des incisives, jouer sur l'inclinaison des dents ainsi que leur proportion. On peut également tracer le contour des bords gingivaux.



*Figure 11 : Simulation du sourire grâce au concept de Smile Design*

### 2.2.3.5. Transfert des lignes de références sur les photographies endobuccales

Trois nouvelles lignes de références vont être tracées afin de permettre le bon positionnement de la croix lors du passage des photos exobuccales aux photos endobuccales.

- a. **Ligne 1 (ligne verte)** : d'une pointe canine à l'autre
- b. **Ligne 2 (ligne jaune)** : du milieu du bord incisif d'une incisive centrale au milieu du bord incisif de l'incisive centrale controlatérale
- c. **Ligne 3 (ligne rouge)** : par-dessus la ligne du plan sagittal médian, de l'extrémité de la papille interdentaire jusqu'à l'embrasure incisive

Il est nécessaire de calibrer 4 éléments sur la photographie : la taille, l'inclinaison, la position des bords incisifs ainsi que la position de la ligne médiane.

La ligne 1 permettra de guider la taille et l'inclinaison des dents. La ligne 2 guidera la position des bords incisifs, et la ligne 3 quant à elle servira de guide pour positionner la ligne médiane.



*Figure 12 : Tracé des nouvelles lignes de références*

### 2.2.3.6. Mesure de la proportion de dents

Mesurer le rapport longueur/largeur des incisives centrales est la première étape permettant de comprendre comment redessiner au mieux le sourire.

Un rectangle est tracé tout autour de l'incisive centrale. Les proportions des incisives centrales du patient peuvent être comparées aux proportions « idéales » citées dans la littérature.



*Figure 13 : Mesures de la proportion des dents sur la photographie endobuccale*

Les proportions sont calculées grâce au ratio largeur/longueur (ou « *W/L ratio* »). D'après la littérature, une incisive centrale maxillaire aurait un ratio de 75 à 80%. Cependant il est important de s'adapter à chaque cas clinique, la courbe du sourire étant façonnée par ce rapport largeur/longueur. (35)

#### 2.2.3.7. Tracé des contours dentaires

A partir de cette étape, toute modification ou tracé effectué dépendra de chaque cas et sera donc patient-dépendant.

Le contour des dents peut être dessiné sur la photographie par le praticien, ou bien des contours prédéfinis peuvent être utilisés.

Le choix de la forme des dents est multifactoriel. Il faudra tenir compte de la morphologie et des désirs du patient, des attentes esthétiques ainsi que des particularités du visage.

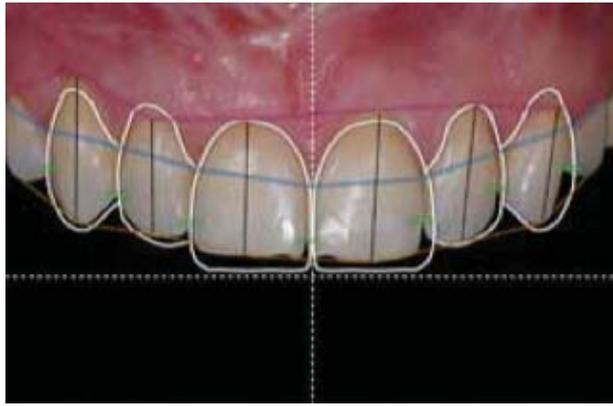


*Figure 14 : Dessins des contours dentaires en fonction de la proportion des dents validée à l'étape précédente*

#### 2.2.3.8. Évaluation esthétique des dents et des tissus mous

Une fois que les lignes de références et les premiers dessins ont été réalisés, le praticien doit avoir une idée claire sur les modifications esthétiques à apporter au niveau de l'arcade maxillaire du patient. Voici quelques points que le praticien pourra modifier afin de répondre aux attentes esthétiques :

- La proportion des dents
- Les relations inter-dentaires
- La relation entre les dents et la ligne du sourire
- La déviation entre la ligne médiane du visage et la ligne médiane dentaire
- L'inclinaison du plan médian et du plan d'occlusion
- Les dysharmonies des tissus mous
- La relation entre les dents et les tissus mous
- La hauteur des papilles inter-dentaires
- Le niveau de la gencive libre
- La situation du bord incisif
- L'axe des dents

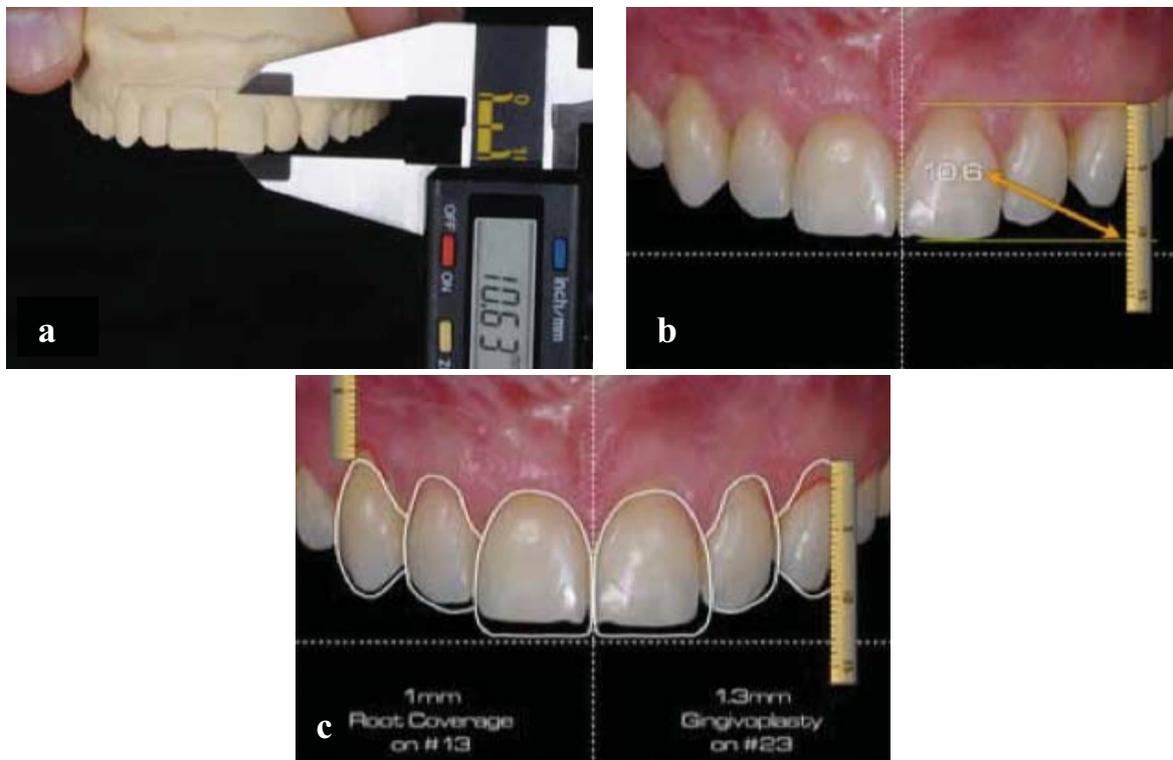


**Figure 15** : Situation des bords incisifs (jaune), des axes dentaires (noire), de la ligne des collets (bleue) et de la ligne des papilles (rose)

#### 2.2.3.9. Calibrage de la règle numérique

La règle numérique est calibrée sur une photographie intra-orale en mesurant la longueur d'une incisive centrale sur un modèle en plâtre, puis cette mesure est transférée sur le logiciel de Smile Design.

Une fois que cette règle numérique est calibrée, le praticien peut réaliser toutes les mesures nécessaires au niveau du secteur antérieur sur la photographie intra-orale.



**Figure 16** : (a) Mesure de la longueur d'une incisive centrale sur le modèle en plâtre – (b)(c) Positionnement et calibrage de la règle numérique sur la photographie endobuccale

#### 2.2.3.10. Transfert des lignes de références sur un modèle en plâtre

La ligne horizontale est placée au niveau de la gencive libre des dents antérieures, à une hauteur plus ou moins importante selon la demande esthétique. La distance entre cette ligne horizontale et le collet de chaque dent est évaluée grâce à la règle numérique (**Figure 17**). Ces mesures sont notées sur le logiciel. Les mesures enregistrées seront ensuite transférées sur le modèle en plâtre avec l'aide d'un pied à coulisse et dessinées à l'aide d'un crayon à papiers (**Figure 18a**).

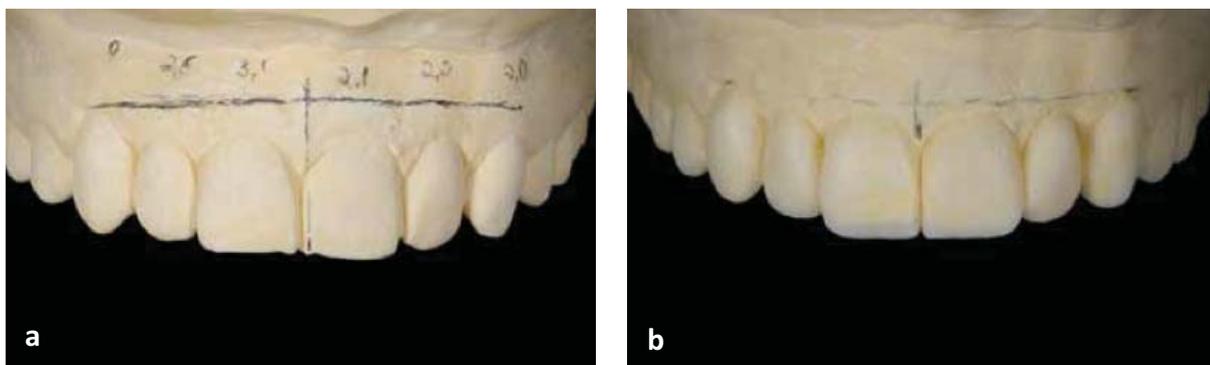


*Figure 17 : Réalisation des mesures sur la photographie endobuccale à l'aide de la règle numérique*

L'étape suivante consiste à transférer la ligne verticale. Sachant que cette ligne doit être perpendiculaire à la ligne horizontale, seul un point de repère est nécessaire pour déterminer sa localisation.

La distance entre la ligne inter-incisive et la ligne médiane est mesurée sur l'ordinateur, puis transférée sur le modèle en plâtre.

Une fois les lignes positionnées sur le plâtre, il est possible de transférer toutes les informations nécessaires au prothésiste afin de le guider dans la réalisation du wax-up (**Figure 18b**) et d'être le plus précis possible. Par exemple, il est important de préciser la position des futurs collets, la nécessité ou non d'une élongation coronaire, la hauteur ou encore la largeur des dents. Plus le prothésiste a d'informations, plus il pourra répondre au mieux aux attentes du praticien et du patient.



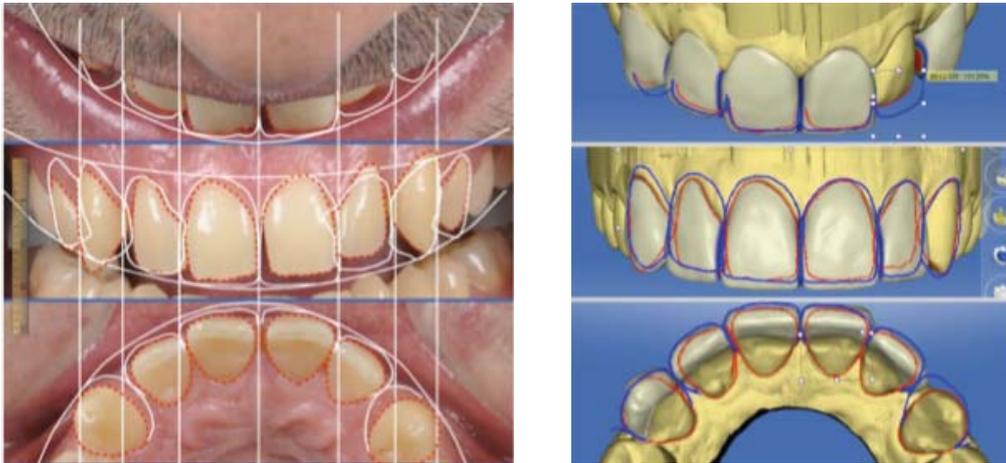
*Figure 18 : (a) Tracé des lignes de références définies précédemment sur le modèle en plâtre – (b) Réalisation du wax-up par le prothésiste*

### 2.3. Evolution du Smile Design : de la 2D à la 3D (33,38)

L'avènement du numérique, et l'apparition de plus en plus importante des scanners intra-oraux sur le marché de la dentisterie, ont permis une évolution du concept de Smile Design. Bien que les photographies extra et intra-orales en 2D soient toujours nécessaires, il est désormais possible de réaliser un scan des arcades dentaires du patient afin d'obtenir une image en 3D. Le scan obtenu est ensuite superposé sur les photographies.

Il est également possible de réaliser un sourire 3D à partir de photographies 2D grâce à des logiciels conçus pour (comme par exemple le logiciel *NemoDSD 2D/3D*, *Nemotec*). Les références faciales décrites précédemment vont guider la conception numérique 3D.

La trame du sourire sera élaborée sur les photographies en suivant le protocole décrit dans la partie précédente (**Figure 19a**). Ensuite, les images 2D seront calibrées et superposées sur le logiciel 3D (**Figure 19b**). Le praticien peut alors effectuer des retouches et agencer le design 3D du sourire.



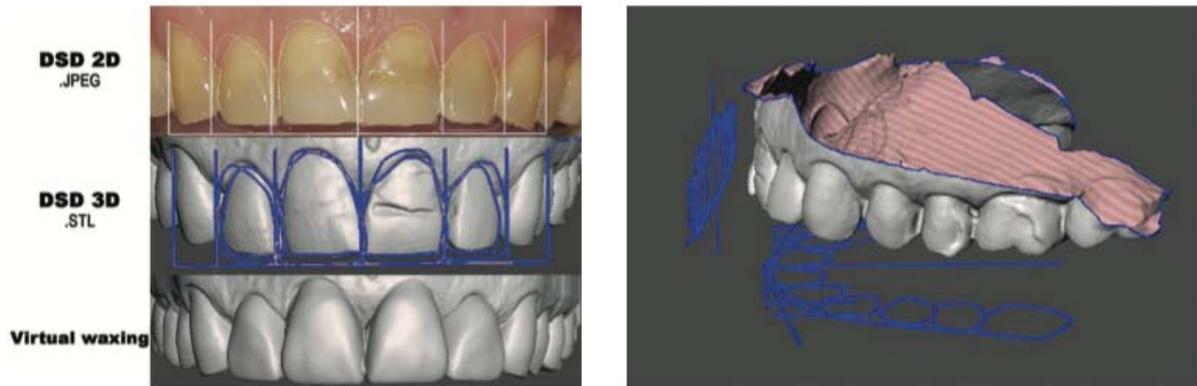
**Figure 19 :** (a) Conception du sourire sur le logiciel 2D – (b) Transposition et calibration du design du sourire sur le logiciel 3D

Le projet final en trois dimensions est ensuite superposé sur la photographie du patient :



**Figure 20 :** Projet smile design en 3D, superposé sur la photographie intrabuccale

Cette nouvelle technique a permis de créer des wax-up virtuels et donc la modification de la proportion des dents, de leur inclinaison... dans les trois sens de l'espace.



*Figure 21 : Conversion du smile design 2D (fichier JPEG), puis 3D (fichier STL) en wax-up virtuel*

#### 2.4. Le Smile Design « tout numérique »

L'évolution du numérique a rendu possible la création d'un Smile Design entièrement en trois dimensions, grâce notamment à la réalisation de scanners extra-oraux (EOS).

La conception d'un projet esthétique en trois dimensions est aujourd'hui réalisable grâce à cette révolution numérique et aux nombreux outils mis à disposition.

L'élément principal du Smile Design en 3D consiste en la création d'un patient virtuel, ou VDP pour « Virtual Dental Patient ».

Il est important de prendre en considération des principes à la fois scientifique et artistique afin d'évaluer au mieux la relation entre les dents, le parodonte, les traits du visage ainsi que la ligne du sourire.

##### 2.4.1. Réalisation de vidéos extra et intra-oraux (39,40)

Au-delà de simples photos en deux dimensions, il est possible de réaliser de courtes vidéos afin d'avoir un support complémentaire. Une seconde de vidéo équivaut à la prise de 29 photos.

L'utilisation de ces documents dynamiques, associés au protocole de DSD, fournit un diagnostic plus efficace, un plan de traitement plus cohérent ainsi qu'une amélioration du résultat final.

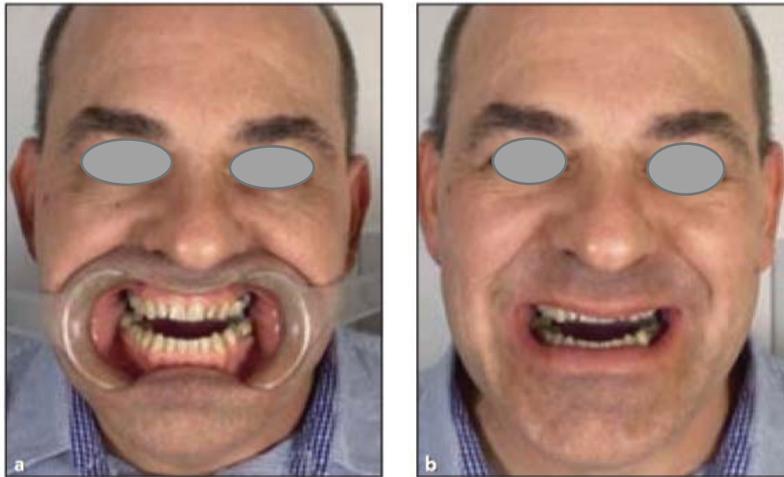
Au total, huit vidéos sont réalisées à l'aide, le plus souvent, d'un smartphone ou d'une tablette. Afin d'obtenir une qualité optimale, la mise en place de panneaux LED permettant une luminosité intense est nécessaire. De plus, il est recommandé d'utiliser un porte-smartphone ainsi que de placer, par exemple, une boîte à gants derrière la tête du patient (qui prend appui dessus) afin d'éviter l'enregistrement de mouvements parasites.

#### 2.4.1.1. Vidéos techniques

Quatre vidéos sont effectuées selon des angles spécifiques :

- **Frontale/de face, avec et sans écarteur**

Dans les deux cas, la bouche doit être ouverte et les dents visibles. Il est possible pour le patient de mordre sur des cales au niveau des molaires afin de garder un espace similaire entre les dents sur les deux vidéos.



*Figure 22 : Visage de face. (a) avec écarteur. (b) sans écarteur.*

- **De profil**

Deux vidéos seront prises : avec les lèvres au repos et avec un sourire forcé. La lèvre supérieure servira de référence.



*Figure 23 : Visage de profil. (a) Au repos. (b) Sourire forcé.*

- **Vue à midi/ en plongée**

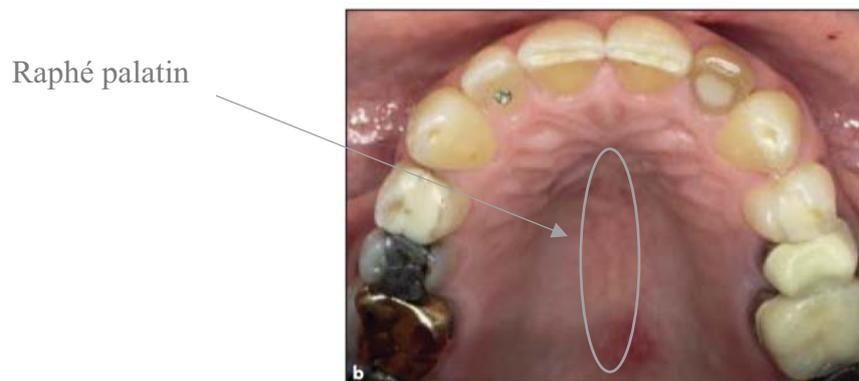
Le praticien se place au-dessus de la tête du patient, le plus perpendiculairement possible au plan médian mais tout en permettant la visualisation des dents. Les bords incisifs des six dents antérieures doivent être visibles. Pour cela, le patient repousse la lèvre supérieure à l'aide de ses pouces.



*Figure 24 : Vue en plongée*

- **Vue occlusale des dents antérieures**

L'utilisation d'un miroir n'est pas nécessaire. Il faut se placer perpendiculairement au plan occlusal. Toutes les dents, de la seconde prémolaire à celle controlatérale, doivent être visibles ; ainsi que le raphé palatin qui doit constituer une ligne droite.



*Figure 25 : Vue occlusale des dents antérieures*

#### 2.4.1.2. Vidéos complémentaires

Ces vidéos sont essentielles pour effectuer une analyse à la fois faciale, phonétique, fonctionnelle et structurelle.

- **Interview de face**

Quatre questions basiques seront posées :

1. Pourquoi voulez-vous avoir recours à un traitement dentaire ?
2. Qu'est-ce que vous aimez et qu'est-ce que vous n'aimez pas dans votre sourire ?
3. Quelles sont vos attentes ?
4. Comment considérez-vous un « sourire idéal » ?

Les réponses fournies donneront des informations capitales sur les désirs et les attentes du patient, ainsi que sa demande initiale.

- **Phonétique à 180°**

Le praticien se place proche de la bouche du patient et filme sur 180°. Pendant ce temps, le patient est invité à compter de 0 à 10, et à prononcer les lettres « F, V et S ». Le patient sourit ensuite normalement puis effectue un sourire forcé.

- **Fonctions intra-orale**

Au cours de l'enregistrement de cette vidéo, le patient va devoir réaliser des mouvements fonctionnels tels que la protrusion et des mouvements de latéralité, avec un écarteur. Les deux côtés, travaillant et non travaillant, sont filmés.

En outre, demander au patient de mastiquer et de réaliser différents mouvements permet d'avoir un aperçu des fonctions et permet de repérer des interférences, ce qui n'est pas toujours aisé sur les photographies.

- **Structures intra-orales**

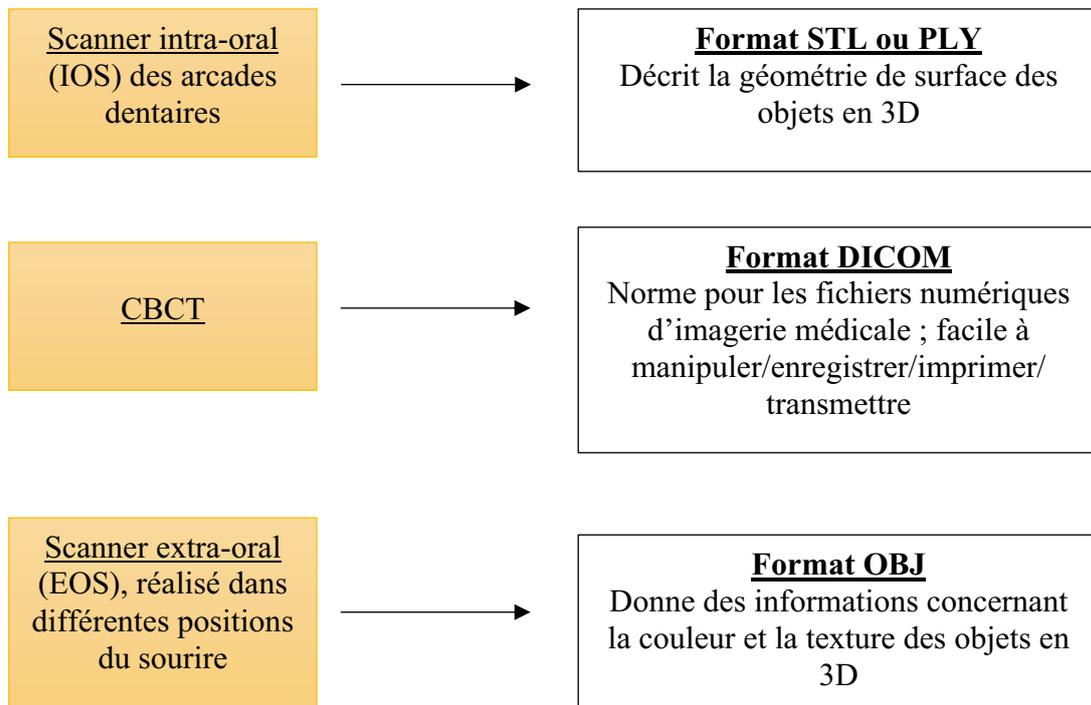
Cette vidéo est également réalisée à l'aide d'un écarteur, afin de visualiser au mieux les surfaces occlusales des dents des arcades maxillaire et mandibulaire.



**Figure 26** : Illustrations des quatre vidéos complémentaires. (a) Interview de face. (b) Vue phonétique à 180°. (c) Fonctions intra-orales. (d) Structures intra-orales.

#### 2.4.2. Patient virtuel en 3D

La création d'un patient virtuel en 3D requiert la superposition de trois données numériques, chacune dans un format différent (41,42).



**Figure 27** : Formats numériques des données nécessaires à la réalisation d'un patient virtuel

Certaines études ont réalisé un « virtual dental patient » (VDP) à partir de photographies extra et intra-buccales en 2D, à la place du scanner intra-oral. Le fichier sera alors en format JPEG (43).

La réalisation d'un scanner extra-oral ainsi que d'un CBCT sont complémentaires. En effet, l'acquisition extra-orale du visage du patient permettra un enregistrement des tissus mous ; alors que les données volumétriques du CBCT permettront un enregistrement des tissus durs. Ces deux données numériques sont assemblées afin de créer un modèle cranio-facial virtuel en trois dimensions (43).

La superposition de tous ces fichiers nécessite la mise en place de points de repères dans chaque fichier, afin de pouvoir les relier entre eux convenablement.

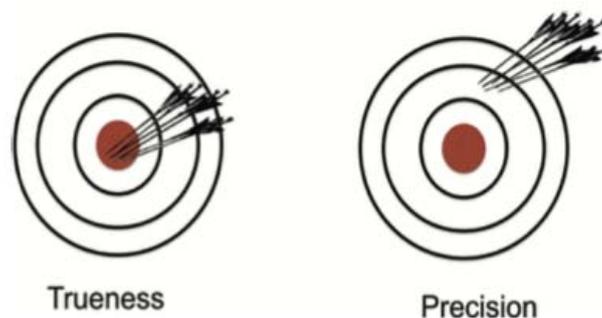
Par exemple, les dents restantes peuvent servir de repères. En cas d'édentement partiel ou total, il faudra s'appuyer sur des points de repère au niveau du visage.

Cette technique de superposition est un moyen de communication efficace. Elle permet de simuler un plan de traitement complet et adapté, tout en prenant compte des attentes du patient.

#### 2.4.3. Scanner intra-oral

De nos jours, nombreux sont les scanners sur le marché de la dentisterie numérique. La qualité des données numériques est l'élément le plus important à prendre en compte.

L'exactitude d'une empreinte dentaire numérique doit allier deux facteurs : véracité et précision (44,45). La **véracité**, ou **justesse**, est définie grâce à la comparaison entre des données de références et des données test. Elle montre jusqu'où la mesure s'écarte des dimensions réelles de l'objet mesuré. Quant à la **précision**, elle est définie grâce à la comparaison des différentes données obtenues à partir d'un même objet en utilisant un même scanner. Elle décrit à quel point les mesures répétées sont proches les unes des autres. (7)



*Figure 28 : Schématisation des deux composantes clés d'un scanner : justesse (gche) et précision (dte)*

Par conséquent :

- Un scanner avec une précision plus élevée correspond à une analyse plus reproductible et cohérente.
- Un scanner avec une justesse plus élevée fournit un résultat proche ou égal aux dimensions réelles de l'objet à numériser.

Les tissus dentaires présentent de nombreuses surfaces réfléchissantes pouvant entraîner une surexposition lors de l'empreinte numérique. Pour cela, un revêtement de poudre (dioxyde de titane) ou d'un filtre polarisant est nécessaire dans certains cas, selon le scanner utilisé par le praticien (46). Bien que la majorité des scanners intra-oraux ne nécessite pas d'avoir recours à ces méthodes, les fabricants de certains scanners intra-oraux tels que le FastScan (*IOS FastScan Spray; IOS Technologies, Inc*), et le True Definition (*High-Resolution Scanning Spray; 3M ESPE*), recommandent le poudrage afin d'obtenir une meilleure précision de balayage (45).

Le poudrage est souvent limité à la réalisation d'empreintes partielles. Dans le cadre des restaurations unitaires notamment, l'application de poudre permet d'améliorer l'ajustement vertical ainsi que l'ajustement interne 3D volumétrique (47).

Pour la numérisation des deux arcades entières, il est préférable de ne pas effectuer de poudrage à cause de la difficulté à maintenir un revêtement de poudre correct sur toutes les dents. De plus, ce procédé de poudrage présente un certain inconfort pour le patient et occasionne un temps additionnel de scannage (46). La littérature rapporte également la notion d'effet toxique provoqué par l'inhalation de poudre de dioxyde de titane et l'exposition aux microparticules, à la fois pour le patient et le praticien (48).

Un scanner capable de reproduire avec précision un objet réel, sans aucun revêtement de surface, semble donc plus idéal comparativement à un système nécessitant un poudrage. En effet, la mise en place de poudre entraîne un nombre important d'erreurs lors de l'acquisition numérique. Ceci est dû à une irrégularité de revêtement ou à une insuffisance/un excès de matériau (49).

Des études in vitro et cliniques comparent les scanners intra-oraux existants sur le marché et permettent de guider le praticien dans son choix. Chaque scanner aura ses avantages et ses inconvénients.



**Figure 29** : deux exemples de scanners intra-oraux. (a) Scanner intra-oral 3Shape - (b) CS 3700 - Carestream Dental.

#### 2.4.4. Scanner extra-oral

L'acquisition de trois scanners extra-oraux est nécessaire (50):

- Position neutre, visage relâché
- Sourire « normal »
- Sourire forcé (éventuellement avec l'aide d'écarteurs)

L'acquisition du « sourire normal » servira d'image de référence quant à la position des lèvres. Le fait de réaliser un sourire forcé permet de découvrir entièrement les dents antérieures qui pourront alors servir de points de repère et concède ainsi un alignement avec le scanner intra-oral.

Le scanner extra-oral devra émettre des rayons non-ionisants pour le patient, et inoffensifs pour les yeux (51). Comme dans le cadre du scanner intra-oral, le recours à un système de poudrage ou d'un filtre polarisant pourra s'avérer utile selon le scanner extra-oral utilisé par le praticien. Tout cela afin d'éviter d'éventuelles erreurs d'acquisition à cause des reflets lumineux.



*Figure 30 : Exemple d'un scanner extra-oral (Sense 3D, 3D Systems)*

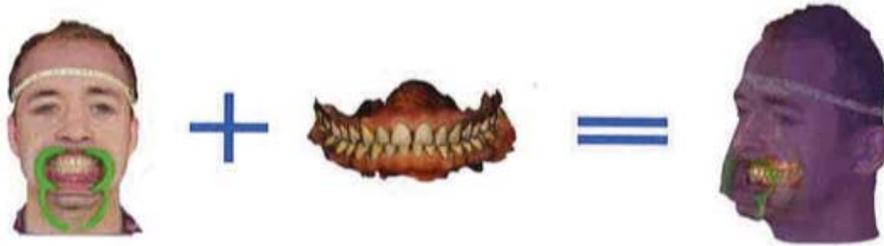
#### 2.4.5. Alignement des objets numériques (51,52)

Une fois l'acquisition des données numériques intra-orale et extra-orale effectuée, le point important est d'aligner ces deux scans de manière rigoureuse. Pour cela, deux techniques sont envisageables : la méthode directe et la méthode indirecte.

##### 2.4.5.1. Méthode directe

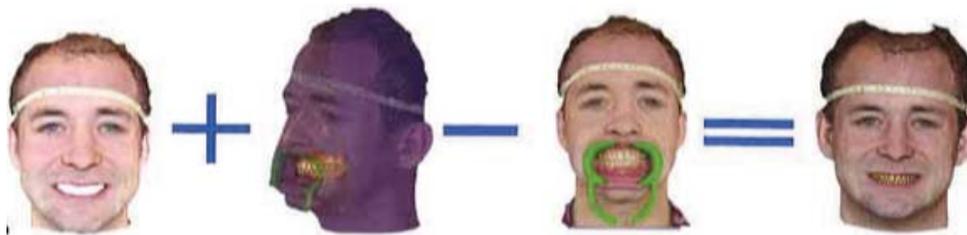
Le principe de cette méthode se décompose en deux temps. L'acquisition en amont d'un scan supplémentaire, plus précis au niveau des dents, est nécessaire afin d'augmenter le nombre de points de repères et donc la justesse d'alignement entre tous les documents. Un écarteur buccal sera mis en place chez le patient puis la numérisation sera réalisée.

Tout d'abord, l'acquisition 3D intra-orale et le scan du visage du patient avec écarteur sont alignés.



*Figure 31 : Première étape de la méthode directe d'alignement des objets numériques*

Puis, l'acquisition obtenue lors de la première étape est alignée avec le scan du visage du patient sans écarteur. Le scan du visage avec écarteur est ensuite supprimé mais les autres scans resteront alignés.



*Figure 32 : Deuxième étape de la méthode directe d'alignement des objets numériques*

#### 2.4.5.2. Méthode indirecte

Pour cette méthode, la réalisation de trois scans sont nécessaires :

- Un scanner intra-oral
- Un scanner extra-oral du visage où le patient effectue un grand sourire
- Un scanner extra-oral du visage avec un aligneur buccal

L'aligneur buccal est utilisé lorsque le patient ne découvre pas assez ses dents lors du sourire, ou lorsque le scanner n'offre pas une précision convenable permettant de trouver suffisamment de points de repères.

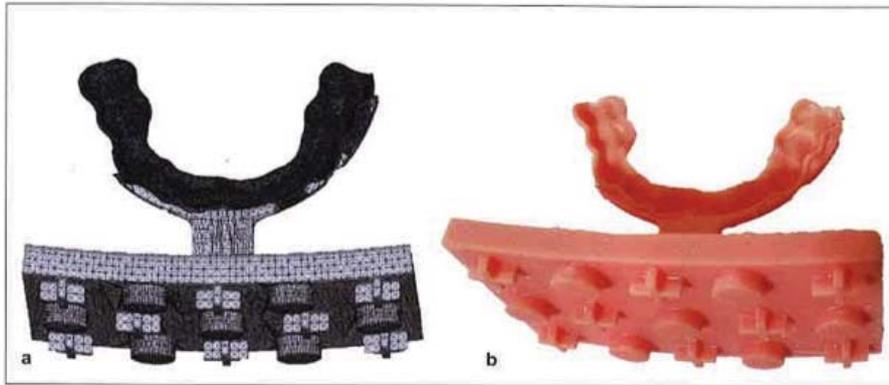
Cet aligneur est constitué de deux parties :

- **Une partie intra-orale :**

Elle est composée d'une gouttière de positionnement. L'occlusion du patient est enregistrée avec un matériel d'enregistrement d'occlusion (type Regisil® 2X par exemple), et l'empreinte sera ensuite numérisée afin d'obtenir la gouttière de positionnement.

- **Une partie extra-orale :**

Elle présente de larges motifs, facilement reconnaissables et repositionnables, permettant d'aligner précisément les acquisitions numériques entre elles.



*Figure 33 : Aligneurs buccaux dans le cadre de la méthode indirecte*

La mise en place d'un aligneur frontal est également possible. Celui-ci ne doit pas être déplacé lors des différentes acquisitions. Cet aligneur apportera une aide supplémentaire pour l'alignement des scans les uns avec les autres.

#### 2.4.6. Avantages et inconvénients du Smile Design en 3D

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus efficace par rapport à un traitement conventionnel en termes de coût horaire</li> <li>- Allègement du nombre de rendez-vous</li> <li>- Meilleure acceptation par le patient</li> <li>- Permet une réhabilitation plus sûre et plus prédictible</li> <li>- Simulation non invasive des finalités chirurgicales et prothétiques</li> <li>- Outil de communication efficace patient/praticien/prothésiste</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût de l'équipement et +/- encombrant</li> <li>- Format numérique différent pour chaque fichier</li> <li>- Acquisition d'un patient virtuel 3D en position statique uniquement</li> </ul>

*Tableau 4 : Avantages et inconvénients du Smile Design en 3D*

## II. Analyse de la littérature

### 1. Bibliométrie

Une recherche bibliographique a été menée sur la base de données PubMed (Medline), avec le mot-clef suivant : « smile design 3D ».

La recherche est étendue du 1<sup>er</sup> janvier 2017 au 31 décembre 2019. Le but est d'étudier des articles récents, traitant des dernières nouveautés sur le concept de Smile Design en trois dimensions.

Les critères d'inclusions mis en place pour cette recherche sont les suivants :

- Articles parus entre 2016 et 2019
- Articles en rapport avec le domaine de la dentisterie
- Articles devant traiter du concept de Digital Smile Design

Ont été exclus :

- Les articles ne faisant pas référence à un protocole en trois dimensions (3D)

Aucun type d'article n'a été exclu de l'analyse bibliographique. Il convient de rappeler la gradation de la Haute Autorité de Santé (**Figure 34**) afin d'évaluer le niveau de preuves des articles qui seront sélectionnés :

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
<b>A</b> Preuve scientifique établie	<u>Niveau 1</u> : <ul style="list-style-type: none"><li>- Essai comparatif randomisés de forte puissance</li><li>- Méta-analyses d'essais comparatifs randomisés</li><li>- Analyse de décision fondée sur des études bien menées</li></ul>
<b>B</b> Présomption scientifique	<u>Niveau 2</u> : <ul style="list-style-type: none"><li>- Essais comparatifs randomisés de faible puissance</li><li>- Études comparatives non randomisées bien menées</li><li>- Études de cohortes</li></ul>
<b>C</b> Faible niveau de preuve	<u>Niveau 3</u> : <ul style="list-style-type: none"><li>- Études cas-témoins</li></ul>
	<u>Niveau 4</u> : <ul style="list-style-type: none"><li>- Études comparatives comportant des biais importants</li><li>- Études rétrospectives</li><li>- Séries de cas</li><li>- Études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale)</li></ul>

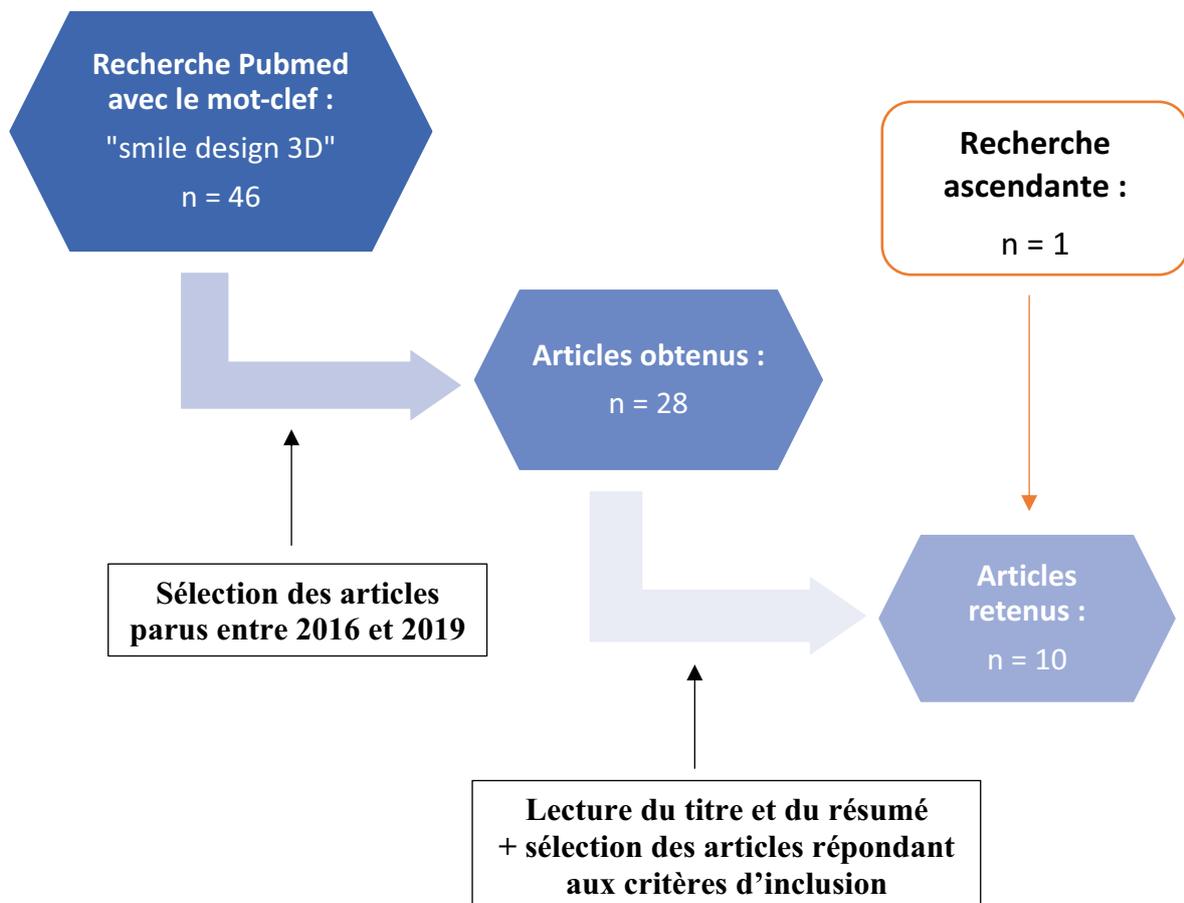
*Figure 34 : Grade des recommandations d'après l'HAS (2013)*

## 2. Matériels et Méthodes

Les recherches effectuées dans la base de données PubMed, au moyen du mot-clef défini précédemment, ont permis de trouver 46 articles. Après application des filtres, seuls neuf d'entre eux sont retenus.

Une recherche ascendante a permis de sélectionner un article supplémentaire, répondant aux mêmes critères définis auparavant.

La dynamique de recherche pour cette analyse de la littérature est schématisée par un organigramme représenté ci-dessous (**Figure 35**) :



*Figure 35 : Flow chart de la méthodologie de recherche*

<b>Titre</b>	<b>Auteurs</b>	<b>Date</b>	<b>Type d'article</b>	<b>Niveau de preuve</b>	<b>Population de l'étude</b>	<b>Logiciels utilisés</b>
<b>Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM : case report.</b>	Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C	2018	Rapport de cas	4	N = 1 Homme 47 ans	
<b>Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D Digital Smile Design process.</b>	Coachman C, Calamita MA, Sesma N	2017	Étude descriptive	4	-----	
<b>The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs : a review of literature.</b>	Omar D, Duarte C	2018	Revue de la littérature	4	-----	
<b>Virtual Smile Design tip : from 2D to 3D design with free software.</b>	Galibourg A, Brenes C	2019	Étude descriptive	4	-----	Keynote (Apple Inc) Ou Power Point (Microsoft Corp)

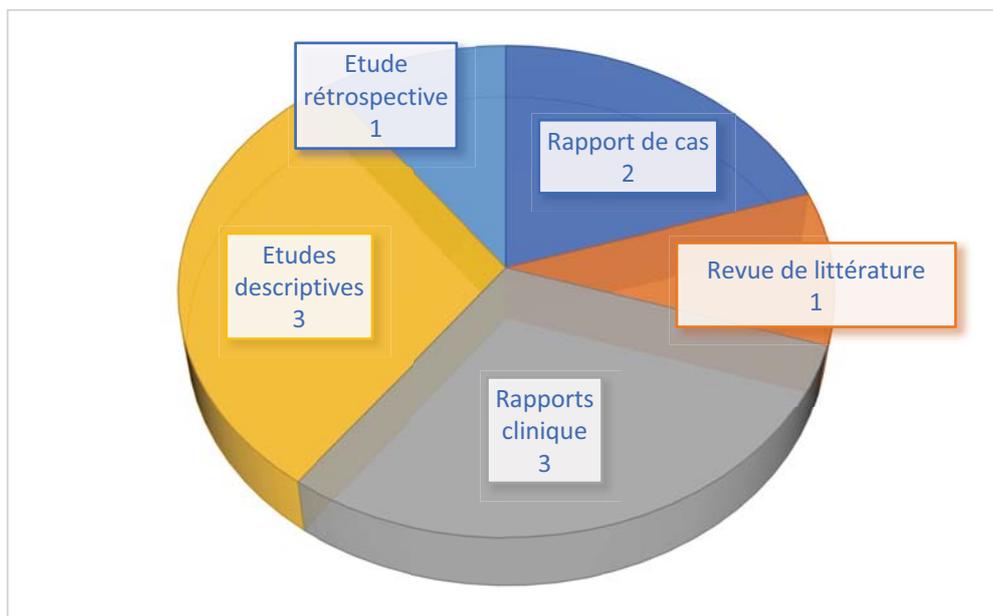
<b>3D Digital Smile Design with a mobile phone and intraoral optical scanner.</b>	Pozzi A, Arcuri L, Moy PK	2018	Étude descriptive	4		
<b>A new total Digital Smile Planning technique (3D-DSP) to fabricate CAD-CAM mockups for esthetic crowns and veneers.</b>	Cattoni F, Mastrangelo F, Gherlone EF, Gastaldi G	2016	Étude rétrospective	4	N = 28 patients 9 femmes 19 hommes Entre 19 et 53 ans	Digital Smile System Srl
<b>Facially generated and cephalometric guided 3D digital smile design for complete mouth implant rehabilitation : a clinical report.</b>	Coachman C, Calamita MA, Coachman FG, Coachman RG, Sesma N	2018	Étude clinique transversale	4	N = 1 Homme 73 ans	NemoDSD (Nemotec)
<b>Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers : a clinical report.</b>	Lin WS, Harris BT, Phasuk K, Llop DR, Morton D	2017	Étude clinique transversale	4	N = 1 Femme 45 ans	Keynote (Apple Inc)

<b>Creation of a 3-dimensional virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental protheses : a clinical report.</b>	Harris BT, Montero D, Grant GT, Morton D, Llop DR, Lin WS	2017	Étude clinique transversale	4	N = 1 Femme 48 ans	Maven Pro nSequence (National Dentex Labs, NDX®)
<b>Digital face-bow transfer technique using the dentofacial analyzer for dental esthetics and 2D, 3D smile design : a clinical report.</b>	Brenes C, Jurgutis L, Babb C	2018	Rapport de cas	4	N = 1 Femme 62 ans	Exocad

Sur les 10 articles retenus, tous sont de niveau 4 c'est-à-dire qu'ils présentent un faible niveau de preuve (grade C) d'après les recommandations de la Haute Autorité de Santé.

Trois articles établissent un rapport clinique suite à des études réalisées selon un modèle de recherche à sujet unique (acronyme SSRD en anglais pour « single-subject research designs »). Une autre étude clinique, réalisée en 2016, sera dite « étude rétrospective » car les patients seront suivis sur deux ans et les résultats analysés à la fin.

Un article correspond à une revue de littérature, et un article correspond à un rapport de cas. Enfin, les trois derniers articles retenus pour cette recherche bibliographique sont des analyses descriptives d'un protocole ou d'une méthode d'utilisation du Smile Design.



*Figure 36 : Répartition des articles selon les niveaux de preuve définis par l'HAS*

### 3. Revue systématique

L'article « The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs : a review of literature » (34) fait un état des lieux des différents logiciels disponibles sur le marché qui ont été développés pour le Digital Smile Design. Les auteurs comparent les logiciels majoritairement présents sur le marché et évaluent leurs paramètres esthétiques.

Cet article permet de guider les praticiens dans leur choix de logiciel et permet également un rappel des différents critères esthétiques à prendre en compte lors d'un protocole de DSD.

Le critère fondamental d'une analyse esthétique est d'inclure le visage, les dents et le parodonte ensemble.

- L'analyse du visage permet de guider et de déterminer la forme ainsi que la taille des dents.
- La mise en relation correcte des dents et des tissus mous détermine grandement la finalité esthétique du traitement.
- L'analyse dentaire rendra compte de la taille finale des dents prothétiques, de leurs contours et leurs couleurs.

Les auteurs définissent 20 paramètres précis dans le but de comparer la compétence de chaque logiciel à effectuer une analyse esthétique : 12 paramètres pour l'analyse faciale, 3 pour l'analyse dento-gingivale et 5 pour l'analyse dentaire.

Après avoir effectué des mesures, les auteurs attribuent une note sur 20 aux logiciels en attribuant 1 point pour chaque paramètre défini.

Seuls 4 logiciels (Photoshop C6, Keynote, Aesthetic Digital Smile Design, Cerec 4.2 software) auront une note supérieure ou égale à 13/20. Tandis que les 4 autres programmes étudiés (DSD App by Coachman, Smile Designer Pro, VisagiSMile, Planmeca Romexis Smile Design) auront tous une note égale à 10/20.

Bien que Photoshop C6 et Keynote ne soient pas des logiciels conçus spécialement pour le DSD, ils obtiennent respectivement la note de 20/20 et 19/20. Ce sont par ailleurs les logiciels les plus utilisés par les dentistes et ceux que l'on retrouve le plus souvent dans les articles scientifiques.

#### 4. Étude rétrospective

L'étude rétrospective « A new total Digital Smile Planning technique (3D-DSP) to fabricate CAD-CAM mockups for esthetic crowns and veneers » (53) a pour but d'évaluer une nouvelle technique de planification de DSD, entièrement en 3D, afin de réaliser un mock-up en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) et permettre ainsi de pré-visualiser le résultat final. Le mock-up sera entièrement conçu grâce au concept de CFAO.

Après lecture de l'article, nous pouvons relever que cette étude présente des biais importants concernant :

- La taille de l'échantillon (nombre de patients inclus dans l'étude)
- La durée de l'étude
- Les critères d'inclusion et d'exclusion
- Le manque de précision des résultats

→ L'étude est réalisée sur 28 patients et s'étend sur 3 ans (de 2012 à 2015), ce qui est insuffisant pour obtenir un résultat significatif. L'écart d'âge entre les patients est très important (de 19 et 53 ans). L'auteur fait juste mention de la moyenne d'âge (36 ans) mais ne détaille pas, ni même ne répartit par tranche d'âge. Un groupe de patient aussi hétérogène constitue un biais.

Il serait intéressant de réaliser une étude comparant 2 groupes de patients, chaque groupe ayant recours à une méthode différente pour la réalisation de facettes dentaires (par exemple, comparer la méthode conventionnelle et la technique de Smile Design en 3D). En outre, il serait pertinent de choisir des échantillons de patients plus précis. La dent est un organe vivant qui évolue au fil des années. La réponse pulpaire, mais aussi gingivale, suite à la taille et la pose de facettes peut donc varier de façon importante entre un patient de 20 ans et un patient de 50 ans.

→ 28 patients sont donc inclus dans cette étude (9 hommes et 19 femmes), cependant aucun critère d'inclusion ni d'exclusion n'est défini. Les auteurs précisent seulement que les patients ne présentaient pas de maladie systémique ou de problème parodontal.

→ Les résultats de cette étude ont révélé 3 types d'échec : la fracture (1 cas), la sensibilité dentaire (2 cas) et la récession gingivale (1 cas). Encore une fois, nous n'avons pas d'informations détaillées. Est-ce que ces échecs sont intervenus sur un seul et même patient ? Ou bien sur quatre patients différents ?

On peut supposer que les problèmes de sensibilités dentaires touchent plutôt les patients jeunes car la pulpe dentaire présente un potentiel plus élevé que chez les patients âgés.

Il aurait également été utile de connaître si la fracture était corrélée à un patient souffrant de bruxisme (4 patients inclus dans l'étude) ou non.

De prime abord, les résultats semblent concluants (pourcentage faible d'échecs) mais il nous manque des informations pour pouvoir dire que ces résultats sont significatifs.

## 5. Rapports d'études cliniques

Une analyse critique de chaque article est effectuée afin d'évaluer sa pertinence et de faire le point sur les informations à notre disposition.

### ★ **Facially generated and cephalometric guided 3D digital smile design for complete mouth implant rehabilitation : a clinical report (54)**

Cet article fait état d'un cas clinique de chirurgie implantaire guidée, portant sur la réhabilitation des arcades complètes maxillaire et mandibulaire. Le patient est un homme de 73 ans, présentant une demande à la fois esthétique et fonctionnelle.

Coachman et al. mettent en avant les avantages des nouvelles technologies et de la dentisterie numérique qui permettraient des réhabilitations plus sûres et prédictibles.

Le « digital workflow » permet en outre :

- Une diminution du nombre de rendez-vous
- Une diminution du coût horaire par rapport à un traitement conventionnel
- Une meilleure acceptation du plan de traitement par le patient

Lors d'une réhabilitation antérieure, le praticien doit se servir du visage du patient comme guide afin d'obtenir des résultats esthétiques et fonctionnels corrects.

Dans un cas d'implantologie, les données suivantes sont nécessaires :

- Des photographies extra-orales et intra-orales, avec éventuellement des vidéos
- Une radiographie panoramique
- Un scanner intra-oral
- Un CBCT

Le flux de travail est divisé en deux temps. Les auteurs vont devoir réaliser deux superpositions successives avant d'obtenir un guide chirurgical implantaire et la prothèse provisoire.

1°/ photographies + Digital Smile Design + arcades dentaires virtuelles → cette superposition permet l'obtention d'un modèle en 3D simulant le résultat final.

2°/ arcades dentaires virtuelles + modèle 3D validé par le patient + CBCT → cette superposition permet de planifier la position des futurs implants.

Par cet article, les auteurs veulent montrer que des plans de traitements complexes sont également réalisables entièrement avec le numérique. Toutes les données peuvent être regroupées dans un seul et même logiciel (ici, NemoDSD de chez Nemotec), quel que soit le format. L'utilisation de ces ressources digitales est le seul moyen de visualiser un résultat final avant de se lancer dans une chirurgie ou des avulsions.

Coachman et al. démontrent également que le Digital Smile Design ne permet pas seulement de répondre à de l'esthétisme mais permet aussi de gérer des problèmes fonctionnels - tel que la perte de dimension verticale d'occlusion, les parafunctions - et de rétablir le plan d'occlusion.

Cet article met en avant la complémentarité de la conception et de la fabrication par ordinateur. Après avoir validé l'étape de CAO, deux guides chirurgicaux sont réalisés grâce à une imprimante 3D et des prothèses dentaires complètes transitoires sont usinées (en polyméthacrylate de méthyl).

Le patient est un tout, et le praticien doit chercher une harmonie entre le visage du patient et son sourire d'où l'importance de la planification digitale en amont.

**★ Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers : a clinical report (55)**

Cet article présente un cas portant sur la restauration des incisives centrales maxillaires grâce au Digital Smile Design en 3D et à la création d'un patient virtuel.

La patiente, une femme de 45 ans, souhaite restaurer ses incisives centrales suite à un accident de la route. Les pièces prothétiques choisies pour cette restauration sont des facettes céramiques en disilicate de lithium. Ce choix est justifié par les raisons suivantes :

- Minimalelement invasif
- Propriétés esthétiques
- Résultats cliniques favorables

Les facettes seront fabriquées au laboratoire, dans un bloc de céramique (*IPS emax CAD, Ivoclar Vivadent AG*).

Le praticien recueille les données nécessaires à la conception du Smile Design :

- Photographies intra-orales
- Scanner intra-oral (*iTero, Align Technology Inc*)
- Photographies extra-orales, en sourire forcé
- Scanner extra-oral 3D (*Sense, 3D Systems Inc*)

Toutes les photographies sont exportées en format JPEG et le scan 3D du visage du patient est exporté en format STL. Le tout est importé dans le logiciel Keynote (Apple Inc) puis le praticien dessine un sourire virtuel en 2D qu'il transpose sur les photographies. Une fois l'approbation de la patiente obtenue, ce fichier est exporté sous le format KEY (Keynote).

Ensuite, toutes les données digitales (fichiers JPEG, STL et KEY) sont transmises à un laboratoire de prothèses dentaires. Le prothésiste importe alors ces données dans un logiciel de CAO (*Geomagic Freeform, 3D Systems Inc*) puis crée un patient virtuel en position de sourire forcé. En se basant sur le Smile Design 2D du praticien, le prothésiste réalise un modèle virtuel en 3D qui sera modifié selon les souhaits de la patiente. Une fois validé, ce modèle sera confectionné par FAO.

Dans la partie « Discussion », les auteurs font un bilan sur l'apport du Smile Design en 3D, avec la création d'un patient virtuel, par rapport au protocole classique de Smile Design en 2D. Le tableau ci-dessous résume les points évoqués par les auteurs :

	Smile Design 2D	Smile Design 3D « Patient virtuel »
<u>Avantages</u>	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La création d'un patient virtuel en 3D permet de surmonter les limitations du Smile Design 2D</li> <li>- Un modèle physique peut être directement usiné suite à la conception du modèle virtuel 3D</li> </ul>
<u>Inconvénients</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Déformation des perspectives</li> <li>- Inexactitude/erreurs lors de la conversion du design en 2D à un modèle virtuel en 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût d'un scanner extra-oral</li> <li>- Chronophage</li> <li>- Demande de l'expérience</li> <li>- Vérifier la position de la tête et l'expression faciale lors de l'enregistrement pour améliorer la justesse des scans</li> </ul>

**Tableau 5** : Comparaison des avantages et inconvénients du Smile Design 2D versus Smile Design 3D

**★ Creation of a 3-dimensionnal virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental protheses : a clinical report (43)**

Cet article présente un cas de réhabilitation globale chez une patiente de 48 ans, souffrant d'une parodontite chronique sévère généralisée. Après un examen clinique et radiographique, une évaluation de la balance bénéfices/risques et une discussion avec la patiente, le plan de traitement retenu est le suivant : avulsion de toutes les dents restantes puis réalisation d'une prothèse amovible complète conventionnelle au maxillaire et d'une prothèse complète fixée sur 4 implants à la mandibule.

Toutes les photographies extra et intra-orales sont exportées sous le format JPEG. Le scanner extra-oral 3D utilisé par les auteurs Harris et al. (*Sense 3D scanner, 3D systems*) est le même que dans l'article précédent de Lin et al. (55). Le fichier est exporté sous le format PLY. Quant aux données du CBCT, elles seront exportées sous le format DICOM.

Pour l'enregistrement de ces données, la patiente doit être à la fois en position d'intercuspidie maximale et en sourire forcé.

Le tout est ensuite envoyé au laboratoire de prothèses dentaires. Trois étapes sont réalisées :

1°/ Les données volumétriques 3D des os maxillaire et mandibulaire, ainsi que des arcades dentaires avec les dents restantes sont segmentés et exportés dans un logiciel de programmation implantaire (*Maven Pro, nSequence*).

2°/ Importation du scan extra-oral 3D et des photographies 2D dans le logiciel de CAO. Le prothésiste fusionne les fichiers 2D et 3D en se basant sur des repères anatomiques (glabellle, nasion, pogognion, etc). On obtient alors un patient virtuel représentant les tissus mous du visage de manière réaliste et avec un sourire forcé.

3°/ Le fichier STL obtenu lors de la première étape est fusionné avec la patient virtuel, les dents restantes servent de points de repères. La finalité est l'obtention d'un patient virtuel en 3D, en position statique.

Ce patient virtuel en 3D permet d'assister le praticien dans la planification du traitement et fournit au patient un sourire en harmonie avec son visage.



**Figure 37** : Réalisation du Smile Design en harmonie avec le patient virtuel en 3D

Avec la présentation de ce cas clinique, Harris et al. nous montrent que le praticien peut éviter un achat onéreux et qu'un scanner bon marché, tel que le *Sense 3D scanner* (utilisable dans le domaine de la dentisterie numérique mais non créé pour à la base), est suffisamment efficace. Naturellement, la qualité des images sera moindre qu'avec un scanner médical professionnel. D'où l'utilisation en complément de photographies extra-orales en 2D, et d'un logiciel de CAO, afin d'augmenter les détails et les propriétés optiques du patient virtuel en 3D.

Dans un futur proche, le but serait de réaliser de la dentisterie numérique en quatre dimensions (4D) avec la création d'un patient virtuel 3D en mouvement, afin de pallier aux inconvénients que présente la technique actuelle.

Les auteurs expliquent notamment que le problème d'avoir un patient virtuel en position statique ne permet pas de simuler les mouvements des lèvres ou les fonctions phonétiques. Le scan du visage est figé, les tissus mous ne s'adaptent pas à la position des dents virtuelles.

★ **Digital face-bow transfer technique using the dentofacial analyzer for dental esthetics and 2D, 3D smile design : a clinical report (56)**

Cet article présente le cas d'une patiente de 62 ans qui souhaite restaurer ses dents antérieures pour des raisons esthétiques (dents colorées, tâchées). La patiente sera revue un an après la réalisation du traitement, aucune complication n'a été rapportée.

Les auteurs vont avoir recours au concept de Smile Design en 2D, et en 3D, mais ils vont surtout utiliser un articulatoire ainsi qu'un arc facial tous deux virtuels. De nombreux logiciels proposent des articulatoires numériques comme outil permettant de simuler les mouvements de la mandibule. Cependant l'enjeu majeur est de pouvoir positionner l'arcade maxillaire sans un outil analogue tel que l'arc facial. Le but de cet article est de présenter un protocole de réhabilitation du secteur antérieur incluant l'utilisation d'un articulatoire virtuel ainsi que d'un arc facial virtuel.

Le matériel utilisé est le *Kois Dento-Facial Analyzer System* – ou *Dento Facial Analyzer (DFA)* – de chez Panadent. Il s'agit tout simplement d'un plan de Fox avec une tige ajustable positionnée perpendiculairement. Un support est placé sur ce plan de Fox, avec un matériau d'enregistrement sur lequel le patient vient mordre. Cela permet de recueillir la position de l'arcade maxillaire ainsi que la position du plan d'occlusion et de la ligne médiane dans les trois plans de l'espace.

Plusieurs techniques furent proposées pour transférer les informations obtenues dans le logiciel de CAO. Mais la plupart sont complexes et chronophages. La technique décrite dans cet article permet d'aligner les données numériques sur l'articulatoire virtuel en utilisant le scan d'un mordu réalisé avec le DFA.

L'avantage d'une technique de réhabilitation par l'utilisation d'outils numériques est que les demandes du patient peuvent être traitées instantanément avec le Smile Design 3D, il n'est plus nécessaire de réaliser des wax-up conventionnels. De plus, les modèles peuvent être directement réalisés via une imprimante 3D. Tout cela représente un gain de temps et d'efficacité pour le praticien.

Quels sont les avantages d'un wax-up virtuel ? Pour Brenes et al. le wax-up virtuel est un outil éducatif et minimalement invasif. Il permet de visualiser et mesurer l'addition du matériau de restauration avant toute intervention sur le patient. Ce wax-up offre à la fois une présentation de l'apparence du futur sourire ainsi qu'un meilleur pronostic de conservation des structures dentaires.

Une fois que le wax-up virtuel fut validé par la patiente, un mock-up conventionnel a été réalisé. Ce dernier présente deux fonctions :

- Sert de **prototype esthétique et fonctionnel** permettant au patient de pré visualiser le résultat final en bouche grâce à un matériau de restauration mis en place dans le mock-up. Des modifications sont encore possibles à ce stade et seront non invasives.
- Sert de **guide de réduction** (une fois l'approbation de la patiente obtenue). Cette réduction est réalisée à travers le mock-up.

Il est important de mettre en relation les modèles numériques avec le visage du patient afin de reproduire les mouvements fonctionnels et ainsi obtenir des résultats esthétiques plus prévisibles.

En utilisant cette technique d'articulateur et d'arc facial virtuel, le recours à un CBCT n'est pas nécessaire et donc le patient n'est pas exposé à des rayonnements ionisants. De plus, avec cette technique le praticien n'a pas à investir dans un scanner 3D extra-oral ce qui est un point positif au niveau du coût. L'utilisation des photographies en 2D est suffisante et le Smile Design en 3D sera réalisé sur ces photographies via le logiciel *Exocad*.

Cette technique serait également réalisable dans le cas de patients édentés.

Alors que les articulateurs analogiques nécessitent des supports compatibles avec la marque, n'importe quel matériel peut être utilisé avec un articulateur virtuel. Cela en fait une technique de transfert digital universel, pouvant être partagé facilement avec d'autres praticiens et laboratoires de prothèses.

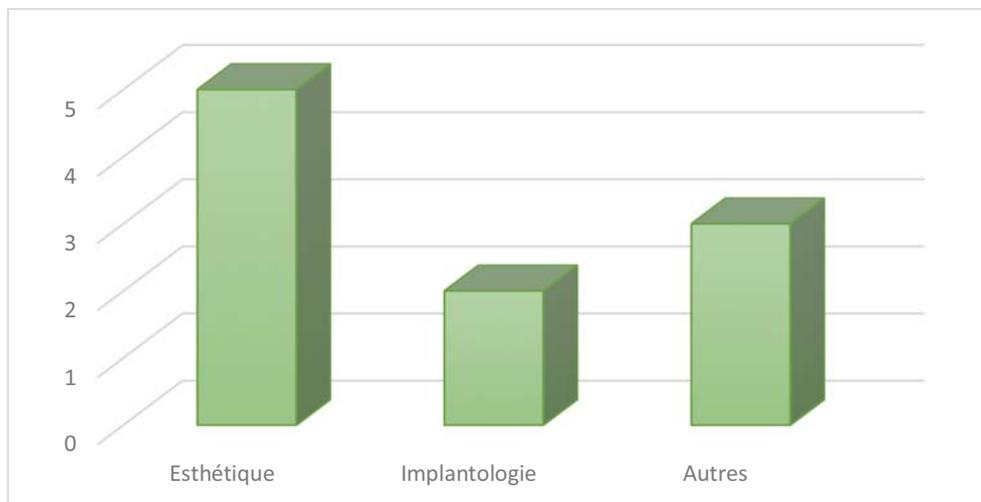
Néanmoins, d'autres études cliniques sont nécessaires pour valider l'exactitude et la reproductibilité de ce protocole.

## 6. Discussion

### 6.1. Quels sont les domaines prédominants ?

La majorité des articles de notre recherche sur le Smile Design 3D sont à visée esthétique, et portent notamment sur la réfection des incisives maxillaires.

On retrouve également des articles en rapport avec l'implantologie. Les cas cliniques présentés ne sont pas de simples cas de prothèse unitaire mais plutôt des cas complexes de réhabilitation type « all on 4 » ou « all on 6 ».



**Figure 38** : Histogramme de la répartition des articles selon le domaine étudié

La catégorie « Autres » correspond aux articles ne présentant pas d'étude de cas clinique et donc ne rentrant dans aucune des deux autres catégories.

## 6.2. Comment expliquer le faible niveau de preuve ?

La technique de Smile Design en trois dimensions est présentée comme une approche moderne, récente et dont nous avons encore assez peu de recul. Certes peu d'études ont été menées sur le sujet mais surtout aucune étude sur le long terme n'a encore été réalisée.

Aucun consensus n'existe quant à la réalisation d'un plan de traitement avec le concept de Smile Design. Tout en respectant certaines lignes directrices, la majorité des articles présentent une façon de faire, un protocole établi en fonction de chaque cas clinique. Il semble alors compliqué de mettre en commun les résultats recueillis au sein des différentes études et d'obtenir un résultat uniforme. Cela peut notamment expliquer l'absence de méta-analyse dans notre recherche bibliographique.

Dans l'article intitulé « Facially generated and cephalometric guided 3D digital smile design for complete mouth implant rehabilitation : a clinical report » (54), les auteurs s'accordent à dire que des études cliniques sur le long terme sont nécessaires afin de valider le protocole numérique mis en place pour ce cas d'implantologie. En effet, plus une étude sera basée sur du long terme, plus la véracité d'un protocole et des résultats seront pertinents.

Le numérique faisant face à une évolution constante, il serait opportun de mettre en place une nouvelle analyse de la littérature d'ici 5 ans.

## 6.3. La communication patient/praticien/prothésiste

Les auteurs des différents articles retenus pour notre analyse de la littérature s'accordent à dire que la dentisterie numérique permet une meilleure communication entre patient, praticien et prothésiste. Il est surtout question de la relation patient/praticien avec l'idée d'un outil éducatif, permettant d'expliquer au patient les finalités du traitement, de simuler le résultat et d'obtenir son approbation. L'accord du patient est obtenu plus aisément que pour un traitement conventionnel car ce dernier sait à quoi s'attendre, il est possible de se projeter avec son nouveau sourire. La technique de Smile Design semble présenter un côté rassurant et donne l'impression d'une technique innovante ; les patients peuvent avoir la sensation d'être face à un dentiste plus professionnel et plus « à la pointe ».

Concernant la communication entre le praticien et le prothésiste, il paraît important d'entretenir un bon rapport et de comprendre la manière de travailler de chacun. Le praticien et le prothésiste sont complémentaires. La réalisation de traitements prothétiques à l'aide des outils numériques nécessite de se mettre d'accord en amont sur le matériel et les logiciels utilisés afin d'avoir des fichiers compatibles.

#### 6.4. Quel avenir pour le Smile Design ?

Le Smile Design est présenté comme un outil novateur et en évolution constante. Son avenir semble tout tracé et prospère dans le domaine de la dentisterie numérique.

De nombreux articles émettent l'idée d'un futur concept de Smile Design en quatre dimensions (4D), permettant d'avoir recours à un patient virtuel en mouvement et non plus statique. La quatrième dimension permet donc d'ajouter le facteur temps grâce à l'animation des modèles dentaires et au déplacement des arcades du patient. Cela aiderait le praticien et le prothésiste à mieux appréhender les tissus mous, le soutien des lèvres etc. lors de la réalisation du sourire virtuel.

La CFAO en 4D apporterait un réel avantage du point de vue de l'occlusion et permettrait une « optimisation de la fonction masticatoire ». Le but est de pouvoir enregistrer et analyser les mouvements des arcades dentaires et la trajectoire des condyles mandibulaires dans l'espace. Pour cela, le praticien a notamment recours à un articulatoire virtuel.

Grâce à la 4D, la marge d'erreur serait diminuée et le nombre de retouches occlusales moins importantes. (57)

Cependant, pour ce qui est du domaine de la dentisterie, il s'agit encore d'une notion non abordée dans la littérature scientifique. Seule la notion de « bio impression 4D » dans le cadre d'articles médicaux, traitant de chirurgie cardiaque ou d'orthopédie, est retrouvée.

## CONCLUSION

Le Smile Design est un concept dont l'efficacité n'est pas remise en question. La notion d'unicité est importante, chaque patient sera différent et donc chaque cas esthétique devra être abordé selon un angle différent. Le visage du patient est l'élément le plus important dans la conception du sourire, ce dernier doit être vu dans sa globalité. Au-delà de l'esthétisme, les critères fonctionnels seront primordiaux afin d'assurer la pérennité des restaurations prothétiques.

Encore considérés comme des « arracheurs de dents » au siècle dernier, les dentistes doivent aujourd'hui répondre à une demande différente. La fonction première de soulager le patient au moyen d'avulsions dentaires a évolué en la réalisation de soins conservateurs et prothétiques. De nos jours, la dentisterie minimalement invasive est un principe clef dans notre pratique quotidienne. La demande esthétique importante des patients montre l'évolution des mœurs.

Le numérique a investi les cabinets depuis plusieurs années et a permis une évolution de la profession. Le rapport avec le dentiste est différent, les patients ne consultent plus pour les mêmes raisons qu'auparavant et souhaitent que l'on soit capable de répondre à leurs demandes. Cependant, bien que le numérique ne semble pas présenter de limites sur le plan technique, qu'en est-il sur le plan éthique ? Le chirurgien-dentiste doit-il répondre à toutes les demandes esthétiques ? Est-ce possible de réfuter les demandes du patient si le praticien considère que les actes ne sont pas justifiables ? Il faut savoir que le chirurgien-dentiste est libre de ses actes mais que, d'après l'article R4127-233 du Code de déontologie, il doit « assurer des soins éclairés et conformes aux données acquises de la science ».

En France, 44% des praticiens ont recours à la CFAO au sein de leur cabinet (58). La majorité sont omnipraticiens et utilisent ce principe, le plus souvent, pour la réalisation d'inlay/onlay. De plus en plus de laboratoires s'équipent d'un système de CAO/FAO afin de suivre l'évolution numérique et de répondre aux sollicitations des chirurgiens-dentistes.

Des évolutions sont encore possibles et tendent vers un concept de « 3D animée » : le Smile Design en quatre dimensions.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Davis NC. Smile Design. Dent Clin N Am. avr 2007;51(2):299-318.
2. Fabry J. Intégration de la CFAO directe en cabinet [Thèse d'état]. [France]: Université de Marseille - Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2018.
3. Descamp F, Fages M. La CFAO en Odontologie : les bases, les principes et les systèmes. Malakoff: CdP; 2016.
4. Richert R, Goujat A, Viguie G, Viennot S, Ducret M. L'empreinte optique intrabuccale : de la connaissance théorique à la stratégie clinique. Cah Prothèse. déc 2016;(176):32-40.
5. Burzynski JA, Firestone AR, Beck FM, Fields HW, Deguchi T. Comparison of digital intraoral scanners and alginate impressions : time and patient satisfaction. Am J Orthod Dentofacial Orthop. avr 2018;153(4):534-41.
6. Scanner TRIOS [Internet]. Disponible sur: <https://www.astemdigital.fr/content/44-3shape>
7. Renne W, Ludlow M, Fryml J, Schurch Z, Mennito A, Kessler R, et al. Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners : an in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. J Prosthet Dent. juill 2017;118(1):36-42.
8. Javaid M, Haleem A. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry : a literature-based review. J Oral Biol Craniofac Res. sept 2019;9(3):179-85.
9. Bhargav A, Sanjairaj V, Rosa V, Feng LW, Yh JF. Applications of additive manufacturing in dentistry : a review. J Biomed Mater Res. 2018;106(5):2058-64.
10. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive technology : update on current materials and applications in dentistry. J Prosthodont. 2017;26(2):156-63.
11. Lugagne Delpon A. L'usage de la CFAO pour la réalisation de prothèse provisoires fixées [Thèse d'état]. [France]: Université de Bordeaux - Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2017.
12. Marniquet S, Attal J-P, Tapie L, Fron Chabouis H. Les matériaux usinables en dentisterie restauratrice et en prothèse fixée. Inf Dent. mai 2014;96(20):59-64.
13. Céramique [Internet]. Kreos Dental. Disponible sur: <https://www.kreos-dental.fr/consommables/ceramique/>
14. Disque Idodentine PMMA - 3D Dental Store [Internet]. Disponible sur: <https://3ddentalstore.fr/boutique/dentaire/disque-idodentine-pmma/>

15. Oh J. Recent advances in the reconstruction of cranio-maxillofacial defects using computer-aided design/computer-aided manufacturing. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* févr 2018;40(1):2.
16. Bae E-J, Jeong I-D, Kim W-C, Kim J-H. A comparative study of additive and subtractive manufacturing for dental restorations. *J Prosthet Dent.* août 2017;118(2):187-93.
17. Elhamid A, Harti M. Cut-back direct : optimisation de l'esthétique des blocs céramiques destinés à la CFAO. *Cah Prothèse.* juin 2018;46(182):100-5.
18. Pia J-P, Contrepois M, Dr. Brothier J, Dr. Soenen A. L'expression de nos céramistes artistes : situations à forte demande esthétique (CFAO semi-directe et indirecte). *Le fil dentaire* [Internet]. mai 2015; Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/l-expression-de-nos-ceramistes-artistes-situations-a-forte-demande-esthetique-cfao-semi-directe-et-indirecte/>
19. 3D Totem. Quels sont les différents types de CFAO dentaire ? [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://www.3d-totem.fr/quels-sont-les-differents-types-de-cfao-dentaire/>
20. Roques C. La CFAO dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire et en laboratoire dans la région Midi-Pyrénées en 2013. Etude épidémiologique. [Thèse d'état]. [France]: Université de Toulouse - Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2014.
21. Duminil G. Les restaurations corono-radiculaires indirectes par technique de CFAO. *Inf Dent.* juill 2019;101(25/26):16-22.
22. Duminil G. Il était une fois la CFAO... *Inf Dent.* mai 2019;101(21):108-18.
23. Davarpanah M, Rajzbaum P, Szmukler-Moncler S, Davarpanah K, Chue Y, Sater S. Prothèse implantaire : la disruption numérique. *Inf Dent.* sept 2018;100(31):24-32.
24. Delrieu J. CFAO et Prothèse Amovible [Thèse d'état]. [France]: Université de Toulouse - Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2017.
25. Bonnet G, Batisse C, Bessadet M, Philippon C, Nicolas E, Veyrone J-L. Prothèse amovible complète : le système Ivoclar Wieland Digital Denture, évolution ou révolution ? *Cah Prothèse.* juin 2017;(178):30-41.
26. Bouta M, Comallonga H, Picart B, Lambert H. Prothèse maxillo-faciale et empreinte optique. A propos d'un cas clinique. *Cah Prothèse.* 2018;46:258-65.
27. Van Steenberghe P. Les apports de l'orthodontie digitale à la dentisterie esthétique. *Inf Dent.* nov 2018;100(41/42):62-4.
28. DIGITAL SMILE DESIGN [Internet]. DSD ALIGNERS. Disponible sur: <https://www.digitalsmiledesign.com/dsd-aligners/>
29. Londono J, Abreu A, Baker PS, Furness AR. Fabrication of a definitive obturator from a 3D cast with a chairside digital scanner for a patient with severe gag reflex: a clinical report. *J Prosthet Dent.* nov 2015;114(5):735-8.

30. Gaillard C, Riera C. Le smile design : un outil pour la planification des traitements esthétiques et fonctionnels. Le fil dentaire [Internet]. nov 2016;(120):40-3. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/le-smile-design/>
31. Coachman C, Calamita M. Digital Smile Design : a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry. Quintessence Dent Technol. 2012;35:103-11.
32. Noharet, Gaillard, Clément, Coachman. Analyse diagnostique d'un traitement esthétique : Digital Smile Design®. Inf Dent. 2015;97(22):18-21.
33. Coachman C, Yoshinaga L, Calamita M, Sesma N. The Digital Smile Design Concept. Disponible sur: [https://digitalsmiledesign.com/explore/dsd-media/dsd-content/dsd-assets/04-dsd\\_booklet.pdf](https://digitalsmiledesign.com/explore/dsd-media/dsd-content/dsd-assets/04-dsd_booklet.pdf)
34. Omar D, Duarte C. The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs : A review of literature. Saudi Dent J. janv 2018;30(1):7-12.
35. Zimmermann M, Mehl A. Virtual smile design systems : a current review. Int J Comput Dent. 2015;18(4):303-17.
36. Chiche G, Pinault A. Esthétique et restauration des dents antérieures. CdP. Paris; 1995.
37. Guerin A. Planification d'une restauration esthétique en prothèse fixée avec un logiciel de « Smile Design » et ses applications en CFAO [Thèse d'état]. [France]: Université de Nantes - Unité de Formation et de Recherche d'Odontologie; 2016.
38. Galibourg A, Brenes C. Virtual smile design tip: From 2D to 3D design with free software. The Journal of Prosthetic Dentistry. mai 2019;121(5):863-4.
39. Stanley M, Paz AG, Miguel I, Coachman C. Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: case report. BMC Oral Health. août 2018;18(1):134.
40. Coachman C, Calamita MA, Sesma N. Dynamic documentation of the smile and the 2D/3D Digital Smile Design process. Int J Periodont Restor Dent. avr 2017;37(2):183-93.
41. Joda T, Gallucci GO. The virtual patient in dental medicine. Clin Oral Implants Res. juin 2015;26(6):725-6.
42. Joda T, Brägger U, Gallucci G. Systematic literature review of digital three-dimensional superimposition techniques to create virtual dental patients. Int J Oral Maxillofac Implants. avr 2015;30(2):330-7.
43. Harris BT, Montero D, Grant GT, Morton D, Llop DR, Lin W-S. Creation of a 3-dimensional virtual dental patient for computer-guided surgery and CAD-CAM interim complete removable and fixed dental prostheses : a clinical report. J Prosthet Dent. févr 2017;117(2):197-204.
44. Sason GK, Mistry G, Tabassum R, Shetty O. A comparative evaluation of intraoral and extraoral digital impressions: An in vivo study. J Indian Prosthodont Soc. juin 2018;18(2):108-16.

45. Kim RJ-Y, Park J-M, Shim J-S. Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition : a qualitative and quantitative evaluation. *J Prosthet Dent.* 2018;120(6):895-903.
46. Richert R, Goujat A, Venet L, Viguié G, Viennot S, Robinson P, et al. Intraoral scanner technologies : a review to make a successful impression. *J Healthc Eng.* 2017;2017(12):1-9.
47. Prudente MS, Davi LR, Nabbout KO, Prado CJ, Pereira LM, Zancopé K, et al. Influence of scanner, powder application, and adjustments on CAD-CAM crown misfit. *J Prosthet Dent.* mars 2018;119(3):377-83.
48. Rupf S, Berger H, Buchter A, Harth V, Ong MF, Hannig M. Exposure of patient and dental staff to fine and ultrafine particles from scanning spray. *Clin Oral Investig.* mai 2015;19(4):823-30.
49. Kim J-H, Kim K-B, Kim S-H, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Quantitative evaluation of common errors in digital impression obtained by using an LED blue light in-office CAD/CAM system. *Quintessence Int.* mai 2015;46(5):401-7.
50. Daher R, Ardu S, Vjero O, Krejci I. 3D Digital Smile Design with a mobile phone and intraoral optical scanner. *Compend Contin Educ Dent.* juin 2018;39(6):e5-8.
51. Quarré L, Faudi J-M, Etienne O. Le projet esthétique 3D : la voie du futur. *Réal Clin.* 2019;30(3):227-35.
52. Lam WYH, Hsung RTC, Choi WWS, Luk HWK, Pow EHN. A 2-part facebow for CAD-CAM dentistry. *J Prosthet Dent.* déc 2016;116(6):843-7.
53. Cattoni F, Mastrangelo F, Gherlone EF, Gastaldi G. A new total digital smile planning technique (3D-DSP) to fabricate CAD-CAM mockups for esthetic crowns and veneers. *Int J Dent.* 2016;2016:6282587.
54. Coachman C, Calamita MA, Coachman FG, Coachman RG, Sesma N. Facially generated and cephalometric guided 3D digital design for complete mouth implant rehabilitation : a clinical report. *J Prosthet Dent.* mai 2017;117(5):577-86.
55. Lin W-S, Harris BT, Phasuk K, Llop DR, Morton D. Integrating a facial scan, virtual smile design, and 3D virtual patient for treatment with CAD-CAM ceramic veneers : a clinical report. *J Prosthet Dent.* févr 2018;119(2):200-5.
56. Brenes C, Jurgutis L, Babb C. Digital face-bow transfer technique using the dentofacial analyzer for dental esthetics and 2D, 3D smile design : a clinical report. *J Oral Science Rehabil.* juin 2018;4(2):22-30.
57. Felenc S, Jaisson M. Comprendre la CFAO 4D. *Inf Dent.* 100(3):18-23.
58. LA CFAO en cabinet dentaire : où en sommes-nous ? [Internet]. *Le fil dentaire.* 2017. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/analyse/etudes/la-cfao-en-cabinet-dentaire-ou-en-sommes-nous/>

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

<b>FIGURE 1</b> : LES ETAPES DE LA CFAO (2).....	15
<b>FIGURE 2</b> : LES PRINCIPES DE LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (CAO) .....	16
<b>FIGURE 3</b> : ILLUSTRATION D'UNE PRISE D'EMPREINTE NUMERIQUE INTRABUCCALE (6).....	16
<b>FIGURE 4</b> : LES DIFFERENTES APPLICATIONS DE LA FAO PAR ADDITION EN DENTISTERIE .....	18
<b>FIGURE 5</b> : A. BLOCS DE CERAMIQUE (13) – B. DISQUE DE PMMA (14).....	19
<b>FIGURE 6</b> : ORGANIGRAMME RECAPITULATIF DES TROIS TYPES DE CFAO .....	20
<b>FIGURE 7</b> : MODELISATION DES ARCADES MAXILLAIRES PAR EMPREINTE OPTIQUE, AVANT ET APRES TRAITEMENT INVISALIGN® (28) .....	23
<b>FIGURE 8</b> : LIGNES DE REFERENCES .....	26
<b>FIGURE 9</b> : POSITIONNEMENT DES LIGNES DE REFERENCE SUR LA PHOTOGRAPHIE EXOBUCCALE – LE "DIGITAL FACEBOW" .....	26
<b>FIGURE 10</b> : TRANSFERT DES LIGNES DE REFERENCES SUR LA PHOTOGRAPHIE ENDOBUCCALE.	27
<b>FIGURE 11</b> : SIMULATION DU SOURIRE GRACE AU CONCEPT DE SMILE DESIGN .....	27
<b>FIGURE 12</b> : TRACE DES NOUVELLES LIGNES DE REFERENCES .....	28
<b>FIGURE 13</b> : MESURES DE LA PROPORTION DES DENTS SUR LA PHOTOGRAPHIE ENDOBUCCALE	28
<b>FIGURE 14</b> : DESSINS DES CONTOURS DENTAIRE EN FONCTION DE LA PROPORTION DES DENTS VALIDEE A L'ETAPE PRECEDENTE .....	29
<b>FIGURE 15</b> : SITUATION DES BORDS INCISIFS (JAUNE), DES AXES DENTAIRE (NOIRE), DE LA LIGNE DES COLLETS (BLEUE) ET DE LA LIGNE DES PAPILLES (ROSE) .....	30
<b>FIGURE 16</b> : (A) MESURE DE LA LONGUEUR D'UNE INCISIVE CENTRALE SUR LE MODELE EN PLATRE – (B)(C) POSITIONNEMENT ET CALIBRAGE DE LA REGLE NUMERIQUE SUR LA PHOTOGRAPHIE ENDOBUCCALE .....	30
<b>FIGURE 17</b> : REALISATION DES MESURES SUR LA PHOTOGRAPHIE ENDOBUCCALE A L'AIDE DE LA REGLE NUMERIQUE .....	31
<b>FIGURE 18</b> : (A) TRACE DES LIGNES DE REFERENCES DEFINIES PRECEDEMMENT SUR LE MODELE EN PLATRE – (B) REALISATION DU WAX-UP PAR LE PROTHESISTE .....	31
<b>FIGURE 19</b> : (A) CONCEPTION DU SOURIRE SUR LE LOGICIEL 2D – (B) TRANSPOSITION ET CALIBRATION DU DESIGN DU SOURIRE SUR LE LOGICIEL 3D .....	32
<b>FIGURE 20</b> : PROJET SMILE DESIGN EN 3D, SUPERPOSE SUR LA PHOTOGRAPHIE INTRABUCCALE .....	32
<b>FIGURE 21</b> : CONVERSION DU SMILE DESIGN 2D (FICHIER JPEG), PUIS 3D (FICHIER STL) EN WAX-UP VIRTUEL .....	33
<b>FIGURE 22</b> : VISAGE DE FACE. (A) AVEC ECARTEUR. (B) SANS ECARTEUR. ....	34
<b>FIGURE 23</b> : VISAGE DE PROFIL. (A) AU REPOS. (B) SOURIRE FORCE. ....	34

<b>FIGURE 24</b> : VUE EN PLONGEE.....	35
<b>FIGURE 25</b> : VUE OCCLUSALE DES DENTS ANTERIEURES.....	35
<b>FIGURE 26</b> : ILLUSTRATIONS DES QUATRE VIDEOS COMPLEMENTAIRES. (A) INTERVIEW DE FACE. (B) VUE PHONETIQUE A 180°. (C) FONCTIONS INTRA-ORALES. (D) STRUCTURES INTRA-ORALES.....	37
<b>FIGURE 27</b> : FORMATS NUMERIQUES DES DONNEES NECESSAIRES A LA REALISATION D'UN PATIENT VIRTUEL.....	37
<b>FIGURE 28</b> : SCHEMATISATION DES DEUX COMPOSANTES CLEFS D'UN SCANNER : JUSTESSE (DTE) ET PRECISION (GCHE) .....	38
<b>FIGURE 29</b> : DEUX EXEMPLES DE SCANNERS INTRA-ORAUX. (A) SCANNER INTRA-ORAL 3SHAPE - (B) CS 3700 - CARESTREAM DENTAL.....	39
<b>FIGURE 30</b> : EXEMPLE D'UN SCANNER EXTRA-ORAL (SENSE 3D, 3D SYSTEMS) .....	40
<b>FIGURE 31</b> : PREMIERE ETAPE DE LA METHODE DIRECTE D'ALIGNEMENT DES OBJETS NUMERIQUES.....	41
<b>FIGURE 32</b> : DEUXIEME ETAPE DE LA METHODE DIRECTE D'ALIGNEMENT DES OBJETS NUMERIQUES.....	41
<b>FIGURE 33</b> : ALIGNEUR BUCCAL DANS LE CADRE DE LA METHODE INDIRECTE .....	42
<b>FIGURE 34</b> : GRADE DES RECOMMANDATIONS D'APRES L'HAS (2013) .....	43
<b>FIGURE 35</b> : FLOW CHART DE LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE .....	44
<b>FIGURE 36</b> : REPARTITION DES ARTICLES SELON LES NIVEAUX DE PREUVE DEFINIS PAR L'HAS48	
<b>FIGURE 37</b> : REALISATION DU SMILE DESIGN EN HARMONIE AVEC LE PATIENT VIRTUEL EN 3D54	
<b>FIGURE 38</b> : HISTOGRAMME DE LA REPARTITION DES ARTICLES SELON LE DOMAINE ETUDIE ...	56

# LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : TEMPS DE SCANNAGE (MINUTES:SECONDES) DE DIFFERENTS SCANNERS INTRA-ORAUX D'APRES LES DONNEES D'UNE ETUDE COMPARATIVE DE RENNE ET AL. ....	17
TABLEAU 2 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES DEUX TECHNIQUES DE FABRICATION ASSISTEE PAR ORDINATEUR (FAO) .....	19
TABLEAU 3 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA CFAO.....	21
TABLEAU 4 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU SMILE DESIGN EN 3D .....	42
TABLEAU 5 : COMPARAISON DES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU SMILE DESIGN 2D VERSUS SMILE DESIGN 3D .....	53

**FERLAY (Julie)** – Smile Design, jusqu’où peut-on aller avec le numérique ? – 66 f. ; 38 ill. ; 5 tabl. ; 58 ref. ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2020)

## **RESUME**

De nos jours, le numérique occupe une place importante dans notre vie quotidienne mais également professionnelle. Les dossiers des patients sont désormais informatisés et les films argentiques ont laissé place aux radiographies numériques. Apparu dans les années 1970, la conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) s’est faite une place dans le domaine de la dentisterie et a marqué un tournant dans l’évolution de la profession. L’apparence physique a pris une place prépondérante dans la société entraînant un développement de la chirurgie esthétique. La dentisterie est concernée par cette évolution au travers de la recherche du « sourire parfait ». Le développement du Smile Design permet de répondre à une demande esthétique croissante de la part des patients. D’un projet prothétique en deux dimensions à la base, il est aujourd’hui possible de réaliser des projets prothétiques entièrement numériques. La visualisation en trois dimensions permet d’apprécier le résultat final immédiatement. Le Smile Design représente en outre un outil de communication important au sein du triangle patient/praticien/prothésiste. Ce travail décrit les principes de la CFAO ainsi que l’évolution du Smile Design. Puis, par une analyse de la littérature, un point sera fait sur les dernières méthodes d’utilisation de ce concept.

**RUBRIQUE DE CLASSEMENT** : Odontologie

## **MOTS CLES MeSH**

Conception/Fabrication Assistée par Ordinateur – Computer Aided Design  
Dentisterie esthétique – Esthetics, Dental  
Sourire – Smiling  
Imagerie tridimensionnelle – Imaging, Three Dimensional  
Simulation numérique – Computer Simulation

## **JURY**

Président : Professeur AMOURIQ Yves  
Directeur : Docteur BODIC François  
Assesseur : Docteur JORDANA Fabienne  
Assesseur : Docteur FREUCHET Erwan  
Invité : Docteur LANOISELEE Édouard

## **ADRESSE DE L’AUTEUR**

18 rue Lamoricière - 44100 Nantes  
Ju.Ferlay@gmail.com