

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2020

N°37

**THESE**

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire  
le 22 septembre 2020

par

NGUYEN Thomas  
Né le 17 mars 1995 à STRASBOURG

LE MOCK-UP : ÉVALUATION CLINIQUE DE LA PRÉCISION DE REPRODUCTIBILITÉ

Président : Professeur WALTER Béatrice

Assesseurs : Professeur MINOUX Maryline

Docteur ETIENNE Olivier

Docteur ANCKENMANN Laure

Membre invité : Docteur PILAVYAN Elise



**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE DE STRASBOURG**

**Doyen : Professeur C. TADDEI-GROSS**

**Doyens honoraires : Professeur R. FRANK  
Professeur M. LEIZE  
Professeur Y. HAIKEL**

**Professeurs émérites : Professeur H. TENENBAUM**

**Responsable des Services Administratifs : Mme F. DITZ-MOUGEL**

**Professeurs des Universités**

<b>V. BALL</b>	Ingénierie Chimique, Energétique - Génie des Procédés
<b>A. BLOCH-ZUPAN</b>	Sciences Biologiques
<b>F. CLAUSS</b>	Odontologie Pédiatrique
<b>J-L. DAVIDEAU</b>	Parodontologie
<b>Y. HAÏKEL</b>	Odontologie Conservatrice - Endodontie
<b>O. HUCK</b>	Parodontologie
<b>M-C. MANIERE</b>	Odontologie Pédiatrique
<b>F. MEYER</b>	Sciences Biologiques
<b>M. MINOUX</b>	Odontologie Conservatrice - Endodontie
<b>A-M. MUSSET</b>	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
<b>C. TADDEI-GROSS</b>	Prothèses
<b>B. WALTER</b>	Prothèses

**Maîtres de Conférences**

<b>Y. ARNTZ</b>	Biophysique moléculaire
<b>S. BAHİ-GROSS</b>	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
<b>L. BIGEARD</b>	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
<b>Y. BOLENDER</b>	Orthopédie Dento-Faciale
<b>F. BORNERT</b>	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
<b>A. BOUKARI</b>	Chirurgie Buccale - Pathologie et Thérapeutique - Anesthésiologie et Réanimation
<b>O. ETIENNE</b>	Prothèses
<b>F. FIORETTI</b>	Odontologie Conservatrice - Endodontie
<b>C-I. GROS</b>	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
<b>S. JUNG</b>	Sciences Biologiques
<b>N. LADHARI</b>	Sciences Anatomiques et Physiologiques, Occlusodontiques - Biomatériaux - Biophysique - Radiologie
<b>D. OFFNER</b>	Prévention - Epidémiologie - Economie de la Santé - Odontologie Légale
<b>M. SOELL</b>	Parodontologie
<b>M. STRUB</b>	Odontologie Pédiatrique
<b>X. VAN BELLINGHEN</b>	Prothèses
<b>D. WAGNER</b>	Orthopédie Dento-Faciale
<b>E. WALTMANN</b>	Prothèses

**Equipes de Recherche**

<b>N. JESSEL</b>	INSERM / Directeur de Recherche
<b>Ph. LAVALLE</b>	INSERM / Directeur de Recherche
<b>H. LESOT</b>	CNRS / Directeur de Recherche
<b>M-H. METZ-BOUTIGUE</b>	INSERM / Directeur de Recherche
<b>P. SCHAAF</b>	UdS / Professeur des Universités / Directeur d'Unité
<b>B. SENGER</b>	INSERM / Directeur de Recherche

# Remerciements

À Madame le Professeur Béatrice Walter,

Pour avoir accepté la présidence de ce jury de thèse.

Merci pour votre disponibilité lors de mes années cliniques, votre implication au sein du service de prothèse.

Veillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

À Monsieur le Docteur Olivier Etienne,

Pour m'avoir fait l'honneur de me proposer ce travail et de le diriger. Je vous remercie de votre implication tout au long de l'étude et de la confiance que vous m'avez témoignée dans la rédaction. Merci également pour vos connaissances et votre expérience clinique que vous transmettez avec pédagogie et clarté. Veuillez recevoir le témoignage de mon profond respect et de ma reconnaissance.

À Madame le Professeur Maryline Minoux,

Pour me faire l'honneur de siéger au sein de ce jury de thèse. La précision et la qualité de vos enseignements m'ont accompagné dès la première année de médecine, et durant toutes mes années cliniques passées et à venir.

Veillez trouvez ici le témoignage de mon profond respect.

À Madame le Docteur Laure Anckenmann,

Pour me faire l'honneur de siéger dans ce jury. Merci pour votre implication à chacune de mes vacations cliniques. Votre précision et votre sérieux ont su me guider lors de la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

À Madame le Docteur Élise Pilavyan,

Pour me faire l'honneur d'être juge de mon travail. Votre professionnalisme et votre bienveillance ont su m'accompagner quotidiennement jusqu'à ce jour. Merci pour toutes ces années partagées, au centre de soin d'abord, puis au cabinet lors de mon stage, et autour de quelques verres enfin... Je ne saurais les oublier. Je vous prie de bien vouloir accepter ma sincère considération.

À mes parents, pour leur indéfectible soutien en tous sens. Vous avez toujours été présents à mes côtés et j'espère vous rendre fiers aujourd'hui. Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance pour les valeurs que vous m'avez transmises et tous les souvenirs en famille que j'ai gravés en moi.

À mes deux grands frères, Julien et Louis. Pour tous ces moments de rire et de partage passés ensemble. J'espère qu'ils seront dans l'avenir plus nombreux encore. Vous m'inspirez au quotidien et le Thomas d'aujourd'hui vous doit beaucoup. Merci à vos chéries Sophie et Kristina qui vous accompagnent au quotidien.

À Mathilde, pour avoir eu la patience d'accompagner l'étudiant de P2 jusqu'à ce jour tant attendu. Merci d'être avec moi au quotidien et de me rendre meilleur. Que nos projets soient agrémentés d'amour, d'aventure et de nature.

À mes grands-parents, Mémé et Pépé. Merci pour tout ce que vous avez fait jusqu'à présent pour moi. Je suis ravi aujourd'hui de vous avoir à mes côtés pour célébrer.

À toute ma famille d'Alsace, de Bretagne, de Touraine, de Suisse et du Vietnam pour ces moments partagés ensemble. Ils sont pour moi essentiels et inoubliables. Également une pensée pleine de gratitude envers tous les membres de ma famille qui me regardent de « là-haut », mais que je sens pleinement à mes côtés.

À la famille Iller, pour m'avoir accueilli et soutenu dès les premiers instants.

À mes amis de lycée, merci pour votre présence aujourd'hui, dans ces lieux dont je parle beaucoup mais qui vous sont inconnus. À ces années lycées, ces premières soirées dévergondées... et celles à venir !

À tous mes copains de promo ! Merci à toutes et à tous pour avoir partagé avec moi ces folles cinq années, dont je regrette qu'elles soient déjà passées. Je suis certain toutefois que ce n'était que le début.

À toute la famille dentaire au sens large : étudiants, enseignants, prothésistes, personnels de la faculté et de l'hôpital.

À Joseph et Audrey, pour leur accueil au cabinet. Je suis ravi que mes premiers pas dans la vie professionnelle se fassent ainsi.

À Thomas B., pour tout le travail effectué dans l'ombre, et sans qui l'étude n'aurait pu être possible.

À Riadh, pour avoir accepté de participer à l'étude. Merci pour ta patience et ta motivation tout au long de ce travail.

À Jean-Marc Faudi et Dominique Watzki pour le temps qu'ils m'ont accordé dans la mise en pratique du masque en CFAO.

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année 2020

N°37

**THESE**

Présentée pour le Diplôme d'État de Docteur en Chirurgie Dentaire  
le 22 septembre 2020

par

NGUYEN Thomas  
Né le 17 mars 1995 à STRASBOURG

LE MOCK-UP : ÉVALUATION CLINIQUE DE LA PRÉCISION DE REPRODUCTIBILITÉ

Président : Professeur WALTER Béatrice

Assesseurs : Professeur MINOUX Maryline

Docteur ETIENNE Olivier

Docteur ANCKENMANN Laure

Membre invité : Docteur PILAVYAN Elise

## Table des matières

Introduction .....	5
Partie 1 : Le mock-up.....	7
I. Définition .....	7
II. Options et Mise en œuvre .....	7
II.1. Élaboration du projet esthétique .....	7
II.1.1. Le mock-up direct ou masque esthétique direct .....	7
II.1.1.1. Principe.....	7
II.1.1.2. Avantage .....	8
II.1.1.3. Inconvénient .....	9
II.1.2. Solutions digitales .....	9
II.1.2.1. Principe.....	10
II.1.2.2. Le projet digital en 2 dimensions .....	10
II.1.2.3. Le projet digital en 3 dimensions .....	13
II.1.2.4. Avantages.....	17
II.1.2.4.1. Communication avec le patient.....	17
II.1.2.4.2. Communication avec le prothésiste .....	17
II.1.2.4.3. Planification interdisciplinaire.....	18
II.1.2.5. Limites .....	18
II.2. Le mock-up dans la validation clinique du projet esthétique .....	19
II.2.1. Le mock-up issu d'un wax-up préalable.....	20
II.2.1.1. Principe.....	20
II.2.1.2. Clé en silicone « chairside » .....	20
II.2.1.3. Clé en silicone de laboratoire .....	22
II.2.2. Le mock-up en CFAO : usiné ou imprimé .....	23
II.3. Synthèse des différentes options cliniques pour la réalisation du mock-up .....	25
III. Intérêt des mock-ups.....	26
III.1. Préfiguration du résultat esthétique .....	26
III.2. Communication avec le patient.....	27
III.3. Guide de préparation .....	27

III.3.1. Préparation gingivale .....	28
III.3.2. Préparation dentaire.....	29
III.4. Temporisation .....	29
Partie II :.....	31
Étude Clinique :.....	31
évaluation de la précision de reproductibilité des mock-ups selon deux méthodologies.....	31
I. Problématique .....	31
II. Matériels et Méthodes .....	31
II.1. Principe et matériels de l'étude.....	31
II.2. Présentation du cas clinique.....	33
II.3. Projet esthétique.....	35
II.4. Réalisation du Wax-up.....	36
II.5. Réalisation de la clé de laboratoire (LAB Key) .....	37
II.6. Réalisation de la clé de cabinet (CHAIR Key) .....	38
II.7. Protocole de mise en place .....	39
II.8. Acquisition des données.....	41
II.9. Traitement des données .....	41
II.9.1. Préparation d'un modèle de référence.....	42
II.9.2. Alignement des modèles.....	43
II.9.3. Comparaison 3D .....	44
II.9.4. Analyse statistique des résultats.....	45
III. Résultats .....	45
III.1. Validation de l'alignement informatique initial.....	45
III.2. Comparaison 3D.....	46
III.2.1. Comparaison toutes clés confondus .....	46
III.2.2. Comparaison entre les clés de cabinet.....	47
III.2.3. Comparaison entre les clés de laboratoire.....	49
IV. Analyse statistique descriptive des résultats .....	49
V. Analyse statistique comparative des résultats .....	51
VI. Discussion.....	54
VI.1. Alignement des modèles à la référence .....	54

VI.2. Reproductibilité de la technique du mock-up .....	55
VI.3. Influence de la technique de fabrication de la clé .....	57
Conclusion .....	58
Bibliographie .....	61
Index des tableaux.....	65
Index des figures.....	66
Annexes .....	69

## Introduction

Les 20 dernières années ont été marquées par un intérêt croissant des patients pour leur santé, et plus spécifiquement leur santé bucco-dentaire. Or, tel que défini par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1946, « la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité » (1). Ainsi, l'impact du sourire sur les relations sociales étant majeur, il est légitime de dire que celui-ci influe directement sur la santé des patients. Cela s'est constaté en odontologie, par des motifs de consultations de plus en plus orientés vers des réhabilitations esthétiques.

En parallèle, les avancées scientifiques en termes de nouvelles technologies et de matériaux ont permis aux chirurgiens-dentistes de soigner grâce à une dentisterie adhésive, soucieuse de suivre un gradient thérapeutique (2).

Dans ce contexte, le chirurgien-dentiste a dû s'armer d'outils cliniques, afin de répondre à la double problématique de doléances esthétiques croissantes et de préservation tissulaire. Le mock-up est l'un de ces outils.

La technique du mock-up (ou masque) repose sur le transfert *in vivo* d'un projet esthétique préalablement établi sur modèle, afin d'en préfigurer le résultat final. Le transfert peut être fait de différentes manières, mais il est classiquement assuré par une clé en silicone chargée en résine. Cette opération est répétée par le praticien à plusieurs étapes du traitement, et agit de fait comme un véritable guide.

Néanmoins, tout l'intérêt de la technique repose sur une reproduction du projet *in vivo* qui soit précise et fiable. Or, celle-ci reste opérateur-dépendante et nécessite une mise en place rigoureuse du mock-up.

L'objectif de cette thèse est donc d'étudier la précision de reproductibilité de la technique du mock-up, par une étude clinique.

Dans un premier temps, nous rappellerons les différents outils disponibles à la mise en œuvre du mock-up dans la réalisation d'un traitement à visée esthétique,

ainsi que ses intérêts dans le plan de traitement. Dans un second temps, nous nous intéresserons, au travers d'une étude clinique, à sa reproductibilité, et tenterons de préciser si la technique de fabrication de la clé en silicone influe sur cette reproductibilité.

# Partie 1 : Le mock-up

## **I. Définition**

Le mock-up, ou masque en français, est un artifice provisoire en résine, recouvrant les dents avant toute préparation. Il est classiquement réalisé à partir d'une clé en silicone dans laquelle est injectée ladite résine, mais peut aussi être élaboré directement ou encore par des techniques CFAO.

## **II. Options et Mise en œuvre**

### **II.1. Élaboration du projet esthétique**

Un traitement à visée esthétique commence par une analyse du sourire, préalable à toute procédure irréversible (3). Cette analyse est indispensable et largement codifiée (4). Elle se base sur un examen clinique, radiologique, l'étude des moulages, mais également sur un protocole photographique. Elle peut même dans certains cas être complétée par la vidéo. Cet ensemble de documents permet au praticien une analyse objective et reproductible du patient, avec le moins «d'improvisation» possible (5)(6). Elle prend en compte le sourire et le visage du patient à différentes échelles afin de prévisualiser le résultat. Cette anticipation du traitement ,tôt en amont de ce dernier, est essentielle pour le patient (7). Afin de simuler le résultat final et de décider, d'un commun accord avec le patient, d'un projet, différentes solutions s'offrent au praticien.

#### **II.1.1. Le mock-up direct ou masque esthétique direct**

##### **II.1.1.1. Principe**

Cette méthode dite « à main levée » consiste en l'application, au fauteuil, de résine composite directement sur les dents séchées du patient, sans préparation. Le composite est déposé sur les dents, mis en forme avec les doigts et les instruments

à sculpter le composite, puis polymérisé (Figure 1). Une fois le mock-up validé, une empreinte en silicone associée à des photographies est envoyée au prothésiste. Deux cas de figures sont alors possibles selon que le chirurgien-dentiste s'est appliqué à la réalisation du mock-up : soit le mock-up est directement copié, soit le prothésiste en reprend la forme par un wax-up plus précis (8).



**Figure 1** : Réalisation d'un mock-up direct. Le temps nécessaire varie en fonction de l'habileté du praticien.

### II.1.1.2. **Avantage**

Le mock-up esthétique direct compte plusieurs avantages dans un traitement à visée esthétique. Il permet tout d'abord d'ouvrir une discussion avec le patient sur la modification de son sourire en lui apportant une prévisualisation assez rapide du projet. En fonction de l'habileté et de l'aisance du praticien à manier le composite, il faut compter 10 à 20 minutes pour l'arcade maxillaire (9). Il permet également de poser, dès la première consultation, les limites des traitements. Chez un patient où les niveaux de collets sont asymétriques, il peut constituer un critère de motivation et de décision sur la nécessité préalable d'un traitement orthodontique ou d'une intervention au niveau gingival. De plus, le praticien peut, au besoin, retoucher le composite très aisément à l'aide d'une fraise diamantée ou d'un disque à polir, en prenant soin de ne pas léser l'émail intact sous-jacent.

Si les dents doivent être rallongées ou vestibulées, l'ajout de composite peut gêner le patient dans sa phonation. Le mock-up direct peut alors être laissé au patient pour quelques heures. Cela lui permettra de s'habituer aux nouvelles formes et épaisseurs de ses dents, afin d'obtenir l'approbation de son entourage quant à l'esthétique de son nouveau sourire (9).

### **II.1.1.3. Inconvénient**

Bien que rapide et simple d'apparence, la réalisation d'un mock-up esthétique direct demande au praticien une capacité d'analyse rapide et globale (10). L'objectivité du praticien peut être altérée par l'émotion que lui suscitent les expressions corporelles du patient, son regard, sa simple présence. Aussi, il requiert une manipulation adroite du composite par le chirurgien-dentiste, afin d'obtenir un résultat satisfaisant. De ce fait, la technique du mock-up direct se limite aux cas « simples », où le nombre de dents à restaurer est limité. Actuellement, elle n'est pas la technique privilégiée, car elle est moins codifiée et moins reproductible qu'une technique faisant appel à des mock-ups de contours virtuels idéaux comme le permettent les solutions digitales (8).

### **II.1.2. Solutions digitales**

Le numérique et sa place en odontologie ne cessent de grandir au fil des années. Dans le domaine des restaurations esthétiques, les solutions numériques permettent désormais de proposer au patient, dès les premiers temps, un ou plusieurs projets de manière virtuelle par le biais de logiciels de traitement d'image, c'est le projet esthétique virtuel ou digital smile design (11). Cette approche systématise l'analyse initiale des différents composants du sourire, en souligne ses défauts, et fixe les objectifs du traitement (12).

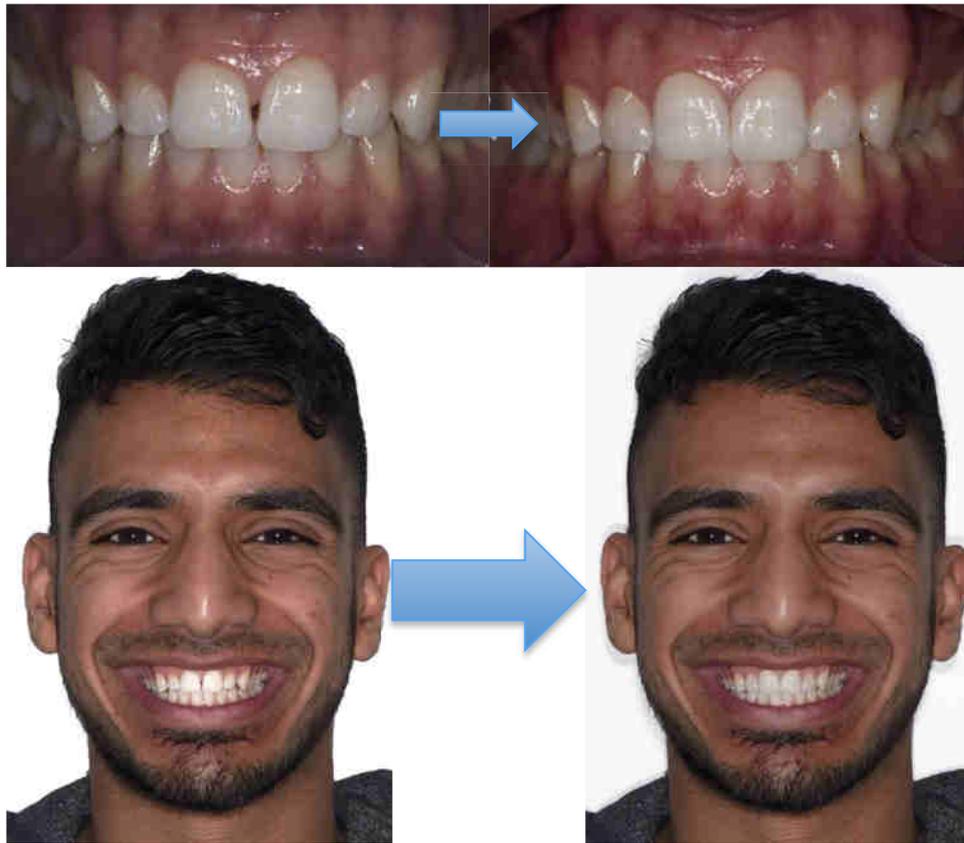
### **II.1.2.1. Principe**

La conception du projet esthétique virtuel se base sur la modification de photographies par des logiciels de traitement d'image (13). Cette approche de diagnostic et de simulation du nouveau sourire en 2 dimensions a été initialement proposée par Christian Coachman au début des années 2010. Plusieurs méthodes sont aujourd'hui décrites, mais toutes reposent sur l'utilisation de critères esthétiques définis comme idéaux, pour simuler un résultat esthétique (8).

Ces projets généralement réalisés en 2 dimensions, sont aujourd'hui possibles en 3 dimensions grâce à des techniques d'acquisitions modernes (14).

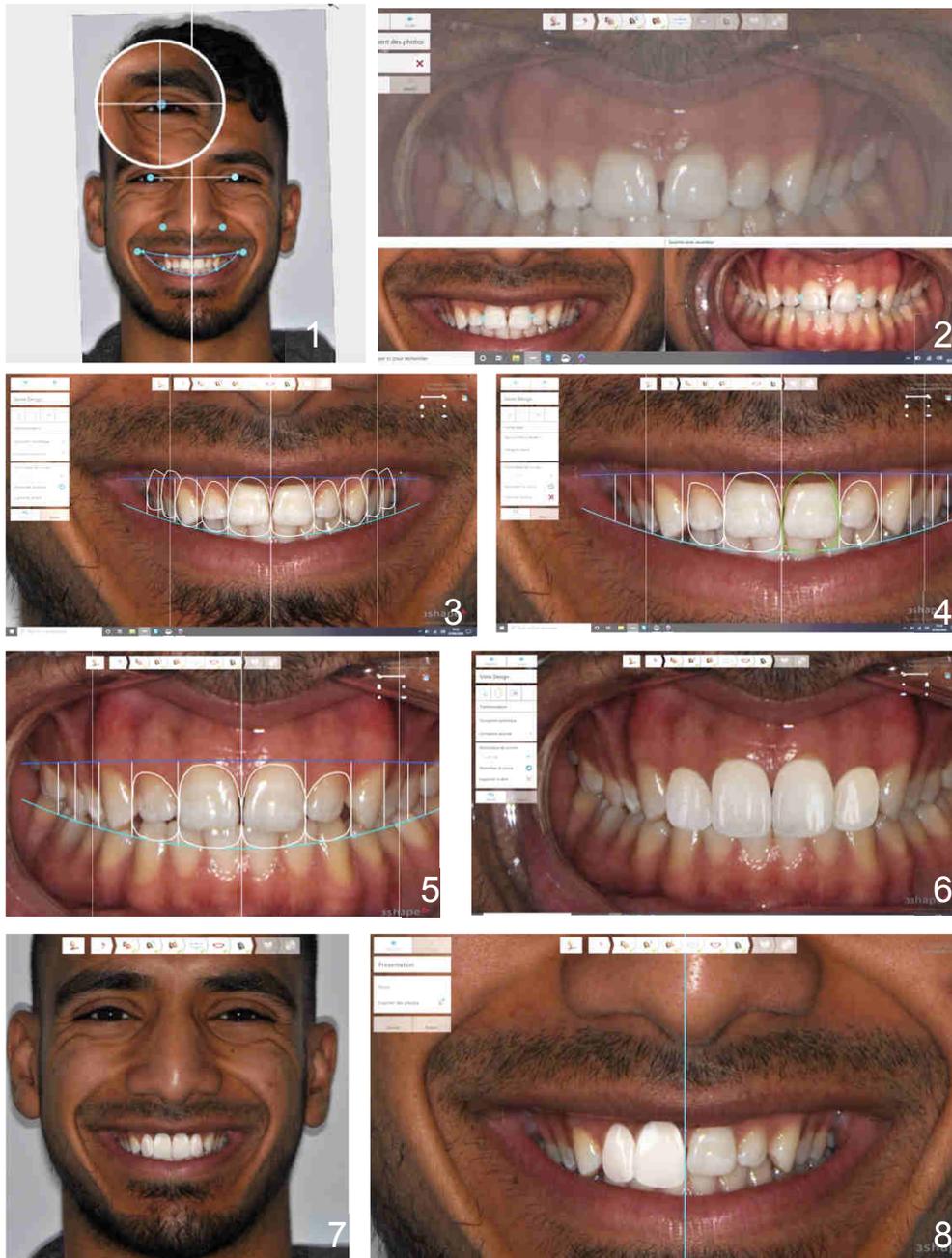
### **II.1.2.2. Le projet digital en 2 dimensions**

Le travail est ici limité à l'utilisation de photographies du patient. Ces photographies sont différentes selon le logiciel et le protocole utilisé, mais tous nécessitent au moins une prise de vue intra-orale et une photographie de type portrait, extra-orale. Sur la vue intra-orale sont modifiées la forme et la teinte des dents. Ce nouveau sourire est alors réintégré dans la photo extra-orale pour correspondre, *in fine*, au(x) projet(s) proposé(s) au patient (Figure 2). La photo présentée au patient est la vue portrait, où l'intégralité du visage est visible, afin qu'il se projette sur son sourire global, et non dans les détails, ce qui pourrait fausser son appréciation. Les vues intra-buccales sont, elles, réservées aux praticiens correspondants éventuellement concernés, mais surtout au prothésiste afin de guider son futur wax-up.



***Figure 2 : Avant - après d'un Photoshop Smile Design sur prises de vue intra-orale et extra-orale. Le rendu très réaliste permis par le logiciel aide le patient à se projeter.***

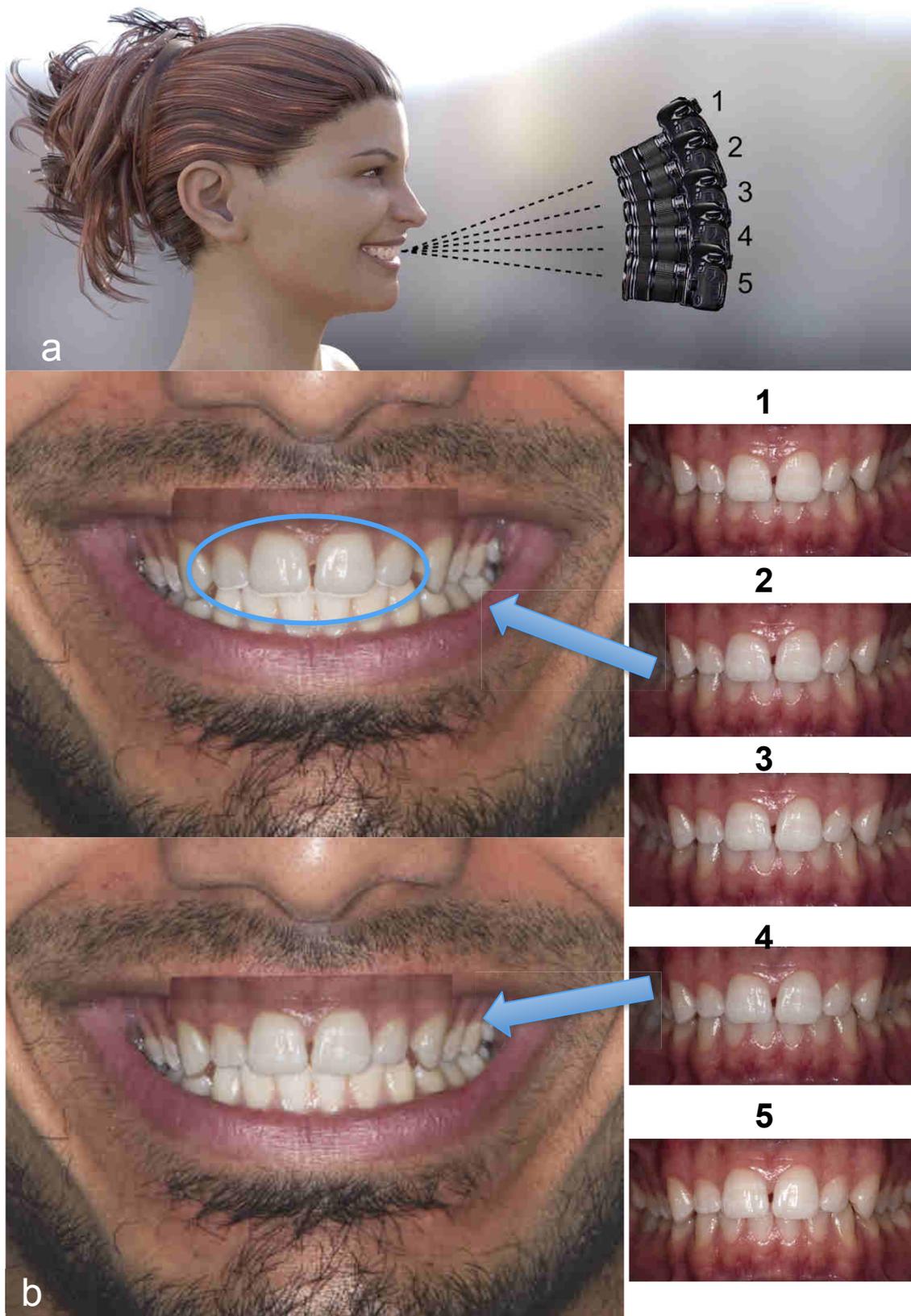
Ces modifications sont possibles via l'utilisation de logiciels de présentation (ex : Powerpoint® ; Keynote®), de logiciels spécialement conçus pour cet usage (ex : Smile Designer Pro®, 3Shape Smile Design® (Figure 3) ou encore de logiciels de traitement et retouches de photographies comme Adobe Photoshop® (11). Les logiciels dont l'application n'est pas exclusive au domaine dentaire, comme Keynote® ou Photoshop®, permettent une analyse complète à toutes les échelles, mais ils nécessitent une capacité à manier le logiciel plus importante (16).



**Figure 3** : Illustration d'un « smile design » sur logiciel dédié : 3Shape Smile Design, 3Shape®. Ici, seules deux photos sont nécessaires, deux photos de face avec et sans écarteurs, en gardant la même angulation pour éviter les erreurs de parallaxe. La première étape consiste à placer les points de référence (1), et associer les deux images entre elles (2). Il faut ensuite choisir parmi la banque de forme, un sourire idéal qui sied au patient (3). Celui-ci peut être modifié pour convenir au mieux (4, 5). Le résultat final intra-buccal (6), et surtout extra-buccal (7, 8), permet de présenter le projet au patient.

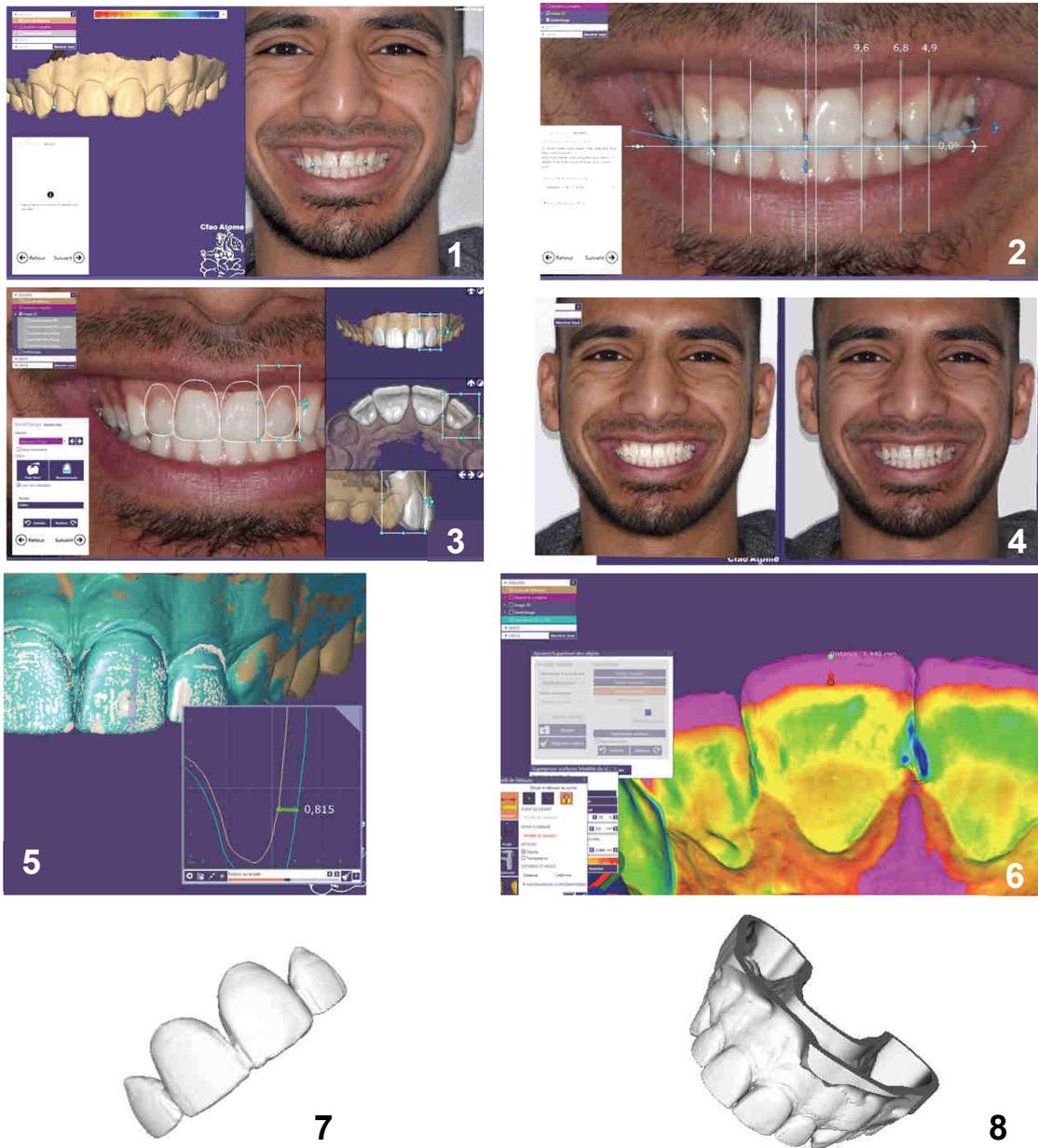
### **II.1.2.3. Le projet digital en 3 dimensions**

Dans une volonté de travailler avec un workflow totalement numérisé, les projets digitaux, classiquement réalisés en 2D, sont aujourd'hui possibles en 3D (14). Ils répondent aux problématiques liées à la 2D, que sont les défauts de parallaxe et l'interruption de succession de tâches numériques (17). Les défauts de parallaxe interviennent lorsque deux photographies du sourire, à échelles différentes, devant être superposées (intra-buccales et extra-buccales), ne sont pas prises de manière parfaitement orthogonale au visage du patient. La superposition est alors inexacte et il en résulte des erreurs de diagnostics et de planification. La seule option est de réaliser plusieurs clichés d'orientation progressive entre 15° et 0° puis de rechercher la meilleure concordance (8) (Figure 4).



**Figure 4** d'après (8) : Pour se soustraire des problèmes de parallaxe, il convient de prendre plusieurs photos à angulations différentes (a). Lors du repositionnement des photos intra-orales et extra-orales, la personne en charge du « smile design » (chirurgien-dentiste ou prothésiste) peut choisir entre les différentes angulations pour trouver celle qui se rapproche au plus de la photo extra-buccale. Une erreur de repositionnement induit inéluctablement des erreurs de planification (b).

Le projet esthétique en 3D commence par la numérisation du visage et du sourire du patient. Pour ce faire, différents moyens sont aujourd'hui disponibles (photogrammétrie, caméra d'acquisition 3D). Ils se distinguent par leur coût, rendu esthétique, facilité d'utilisation, mais leur finalité est d'obtenir un scan intra-oral du patient, associé à une vue extra-orale, elle-même en 3D ou au pire en 2D. Puis, le travail de déformation, qui était réalisé sur photographies dans le cadre d'un projet en 2D, est ici directement opéré sur l'empreinte 3D intra-orale à l'aide d'un logiciel dédié. Ainsi, le nouveau sourire est automatiquement intégré dans la vue extra-orale, qui sera présentée au patient pour qu'il en valide l'esthétique (Figure 5). Néanmoins, la validation fonctionnelle ne pouvant à ce jour se faire de manière numérique, il reste indispensable de passer par un essayage en clinique, le mock-up.



**Figure 5 :** *La première étape consiste en l'alignement du scan intra-oral avec la vue extra-orale (1). Puis, la forme et la taille des dents sont choisies (2), afin de commencer le wax-up (3). Une fois terminé, le rendu final sera proposé au patient (4). Le wax-up numérique permet de calculer précisément les épaisseurs, en tout sens (5 et 6). A l'issue du wax-up numérique, deux solutions existent : imprimer et usiner le masque en résine (7), ou imprimer un modèle du projet sur lequel sera réalisé classiquement une clé en silicone (8)*

## **II.1.2.4. Avantages**

### **II.1.2.4.1. Communication avec le patient**

Le projet esthétique virtuel donne la possibilité au praticien de pouvoir montrer au patient, dès la deuxième séance, une simulation du futur sourire. Le patient se voit sur l'écran d'ordinateur avec le nouveau sourire envisagé, intégré à son visage. Cela lui permet de se sentir au cœur du traitement. Il peut ainsi exprimer ses éventuelles doléances en les indiquant directement sur l'écran, mais aussi mieux comprendre les défauts de son sourire actuel. Il est en effet compliqué, par le simple discours, de faire comprendre au patient les défauts de sa denture mais également les traitements que nous aimerions mettre en œuvre (18). Il peut aussi, dans certains cas, présenter au patient les limites de nos thérapeutiques (19). En ce sens, le patient aborde la suite du traitement en étant plus rassuré et adhère plus facilement au plan de traitement proposé. De plus, il nous est possible de proposer au patient plusieurs projets, afin qu'il participe à ce choix. Cet avantage évite au prothésiste de réaliser plusieurs wax-up des différents projets, et n'engendre pas de coûts ni de temps supplémentaires (20). Le choix du projet se fait de manière totalement numérique. En revanche, la validation fonctionnelle est, quant à elle, uniquement possible par l'essayage clinique du mock-up.

### **II.1.2.4.2. Communication avec le prothésiste**

Dans la réalisation « traditionnelle » d'un plan de traitement incluant un wax-up du secteur antérieur, les informations sont généralement transmises au laboratoire de prothèse par écrit. Que le wax-up soit réalisé par l'ajout de cire sur modèle, ou virtuellement par un logiciel de CFAO, ces fiches écrites laissent au technicien de laboratoire un « flou » quant aux formes et volumes à donner aux futures restaurations. En effet, pour le technicien de laboratoire, qui ne voit pas le patient, chaque information est une aide appréciable pour son travail de céroplastie (21). Le projet virtuel va permettre de lui transmettre des contours de formes aux proportions

idéales, directement transposables sur son modèle, et de le guider précisément dans ses gestes.

#### **II.1.2.4.3. Planification interdisciplinaire**

Les réhabilitations globales sont très souvent pluridisciplinaires, et peuvent faire appel à plusieurs praticiens spécialisés (implantologue, parodontologiste, orthodontiste) (22). Dans une recherche constante de traitements prédictibles et reproductibles, les outils numériques actuels trouvent pleinement leur utilité. Ils offrent un projet esthétique que chaque acteur peut consulter, analyser, mais également enrichir de ses éléments diagnostiques, pour obtenir in fine une prévisualisation du résultat final prenant en compte toutes les composantes du traitement (23). Ils ouvrent ainsi la discussion entre les différents acteurs du plan de traitement, et fixent les impératifs de chacun. Il en découle une planification claire, qui facilite le travail de chaque praticien. Aussi, ces documents sont une source d'explication pour le patient qui peut comprendre plus aisément le traitement, et se sentir au centre d'une prise en charge cohérente.

#### **II.1.2.5. Limites**

Le recours aux solutions numériques rencontre néanmoins des obstacles. Tout d'abord son coût : le prix élevé de certains logiciels de 'smile design', spécialement conçus à cet usage, peut être un frein à leur utilisation pour un omnipraticien. Toutefois, il existe des méthodes qui se basent sur des logiciels plus accessibles comme Keynote® chez Apple ou Powerpoint® chez Microsoft.

Ces techniques demandent également un temps d'apprentissage plus ou moins long en fonction du logiciel. L'utilisation en devient alors moins séduisante pour un praticien dont l'attrait pour le numérique est minime. Il faut également considérer la maîtrise des logiciels par le technicien de laboratoire, sans quoi l'exploitation des documents est impossible (24).

Ensuite, le 'smile design' se heurte aux limites de la biologie et de la cicatrisation, qui reste variable entre chaque patient. En ce sens, tout projet comportant une modification des tissus mous doit être présenté au patient à titre d'information et de motivation, et surtout pas dans une notion contractuelle. A ce titre, il faut veiller à ne jamais laisser une copie du projet au patient, qui pourrait alors se retourner contre le praticien en cas d'échec (19).

Enfin, le smile design, dans le cadre d'un traitement esthétique, donne un projet en 2 dimensions, et centré sur des considérations esthétiques. Contrairement au mock-up direct à main levée, la validation fonctionnelle du projet virtuel n'est, à ce jour, possible que par un essayage en bouche sous la forme du mock-up indirect.

## **II.2. Le mock-up dans la validation clinique du projet esthétique**

Une fois le projet validé esthétiquement par praticien et patient sur ordinateur, vient donc la phase de validation clinique, *in vivo*. Le but de cette étape est de transposer le projet de l'extra-buccal (le modèle en plâtre waxé) en intra-buccal, dans une position qui reste identique. En effet, une mauvaise réalisation du mock-up à cette étape pourrait fausser les étapes cliniques suivantes. Toute la réalisation du plan de traitement est donc guidée par le mock-up, à la condition *sine qua non* que celui-ci soit bien réalisé.

Le patient valide alors l'esthétique du projet, mais surtout sa fonction, qui n'a, jusque-là, pas encore été abordée avec lui. Cette validation, cruciale, ne peut se faire autrement que par un essayage clinique.

Que le projet ait été réalisé sur modèle en plâtre ou de manière numérique, la mise en œuvre du mock-up de validation est possible de différentes façons : soit via la confection d'une clé en silicone, soit par l'usage de la CFAO (mock-up imprimé ou usiné).

## **II.2.1. Le mock-up issu d'un wax-up préalable**

### **II.2.1.1. Principe**

La technique consiste en la transposition intra-buccale du wax-up établi préalablement, à l'aide d'une clé en silicone. La clé est remplie de résine temporaire, puis insérée en bouche.

Si le wax-up a été réalisé de manière « traditionnelle » sur du plâtre, la clé peut être directement confectionnée sur celui-ci ou sur un duplicata. Il est parfois préférable de réaliser un duplicata en plâtre pour éviter toute altération de la cire lors de la désinsertion de la clé.

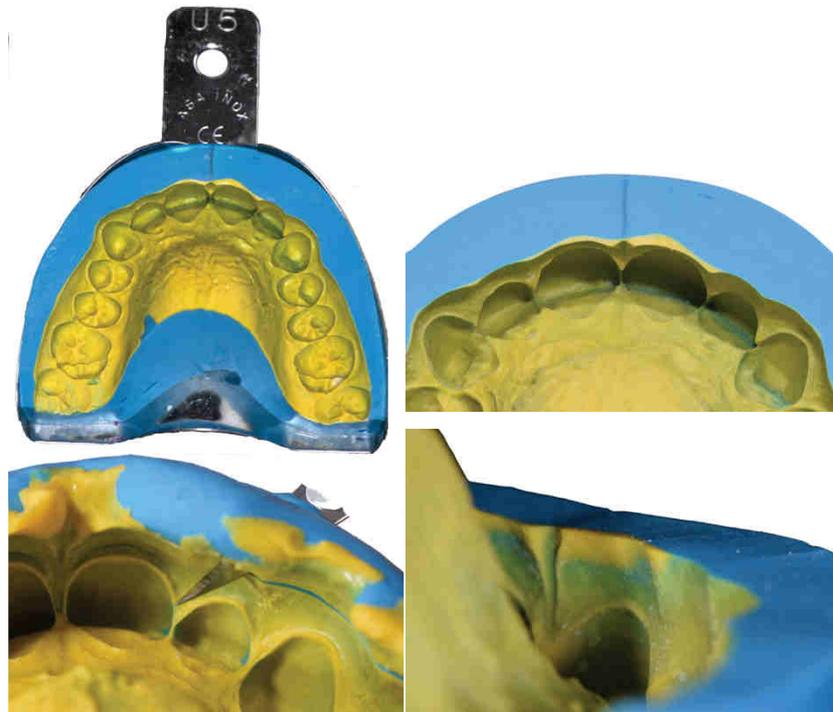
Si le wax-up a été réalisé de manière « numérique » sur ordinateur, il faut soit réaliser un modèle du projet par impression 3D, pour pouvoir ensuite confectionner la clé en silicone ; soit imprimer ou usiner directement le mock-up.

L'élaboration de la clé peut être confiée au praticien (clé « chairside ») ou au technicien de laboratoire (clé « labside ») Dans les deux cas, la clé doit permettre une reproductibilité dans la mise en place du mock-up, et il est essentiel pour cela qu'elle soit rigide, afin de ne pas risquer de déformer le mock-up.

### **II.2.1.2. Clé en silicone « chairside »**

Cette clé est réalisée au cabinet dentaire, après réception du wax-up. Si le praticien souhaite modifier la forme des dents, il peut encore le faire, étant donné que la clé de transposition n'a pas encore été réalisée. Après validation de la céroplastie, la clé est élaborée en silicone par addition (qui présente une plus longue stabilité dimensionnelle de conservation), de préférence par une méthode en deux temps (« wash technique »). Dans cette option chairside, l'utilisation de silicone de moindre dureté rend indispensable l'utilisation d'un coffrage rigide. En détail, le silicone de haute viscosité est placé dans un porte-empreinte métallique rigide, puis le tout est placé sur le duplicata du wax-up. Après polymérisation, l'ensemble est désinséré, le silicone de faible viscosité est injecté dans cette clé puis replacé sur le modèle. Les

excès de silicones sont découpés horizontalement au bistouri, à 5 millimètres, apicalement, du collet des dents. Cette hauteur de silicone volontairement conservée laisse fuser une couche de résine de très fine épaisseur lors de l'insertion, de par la dépressibilité de la muqueuse. Celle-ci assure à l'opérateur un contrôle sur le bon positionnement de sa clé. Toute surépaisseur au niveau de cette bande résineuse gingivale signe un défaut de positionnement et l'obligation de refaire le mock-up. Par ailleurs, il faut également veiller à ce que l'épaisseur de silicone en regard vestibulaire des dents à restaurer soit suffisante, pour éviter toute déformation du mock-up. L'utilisation d'un porte-empreinte lisse (sans rebords périphériques) est importante, car ce dernier permet une désolidarisation porte-empreinte /silicone passive. Cette particularité trouve son intérêt lors des phases d'insertion et de désinsertion intra-buccales de la clé. En effet, la mise en place de la clé dans un premier temps et du porte-empreinte dans un second temps (et inversement lors de la désinsertion) permet de profiter de l'élasticité relative du silicone par addition pour une insertion et un retrait délicat, et d'assurer une rigidité suffisante par le coffrage du porte-empreinte. Ce dernier critère est garant d'une épaisseur de résine conforme à celle du projet (Figure 6).



**Figure 6** : Clé de transposition chairside : noter les découpes verticales postérieures afin d'éviter d'éventuelles zones de tirage ; et la découpe horizontale qui respecte 5 mm au-delà des collets afin de préserver une zone de contrôle à la bonne insertion.

### II.2.1.3. Clé en silicone de laboratoire

L'autre solution consiste à déléguer le travail de conception de la clé au technicien de laboratoire. Cette dernière est alors réalisée en silicone par condensation, présentant une dureté Shore plus importante. De ce fait, le seul silicone suffit à apporter une rigidité suffisante, et le porte-empreinte de coffrage n'est plus nécessaire. À la différence de la clé « chairside », si le travail de céroplastie ne convient pas au praticien, il ne peut pas le modifier dans la même séance, sauf à condition de disposer au cabinet d'un même silicone de basse viscosité, et de rebaser la clé.

Dans le cas contraire, il lui faut réaliser le mock-up, le modifier, et après validation, en prendre une empreinte à l'alginate qui est coulée. Sur ce nouveau modèle, le laboratoire confectionne une nouvelle clé de laboratoire.

Classiquement, les bords de cette clé sont découpés en suivant le contour des collets, de sorte à faciliter le retrait des excès de résine. Bien que les découpes soient différentes, une épaisseur de silicone en vestibulaire des dents à restaurer est toujours nécessaire, pour les mêmes raisons (Figure 7).



**Figure 7 :** Clé de transposition en silicone de laboratoire : l'épaisseur et la dureté initiale du silicone le rende suffisamment rigide pour se suffire à lui-même. Les découpes suivent les collets dans la zone du mock-up.

## II.2.2. Le mock-up en CFAO : usiné ou imprimé

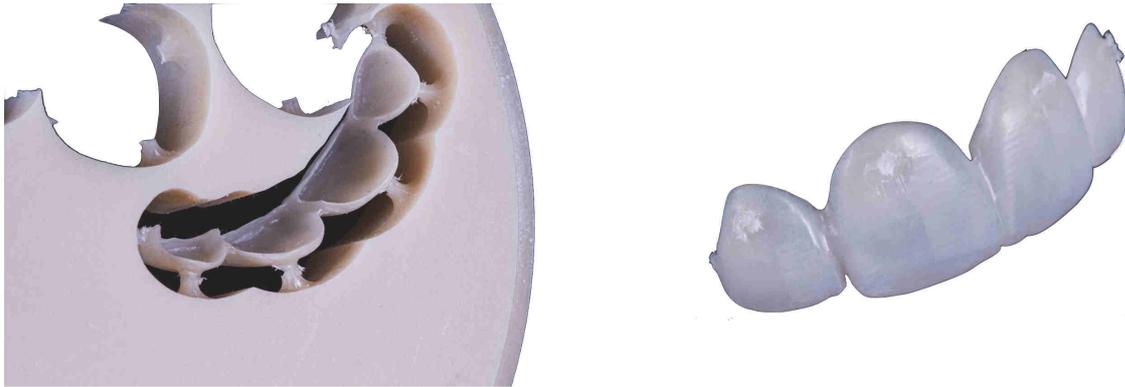
Les avancées technologiques et numériques dans le monde actuel touchent toutes les disciplines médicales (25)(11). En ce qui concerne l'odontologie, il est aujourd'hui possible de numériser en trois dimensions le visage du patient, et de réaliser toutes les étapes d'un traitement à visée esthétique (de l'analyse esthétique initiale à l'usinage des pièces), en restant dans un workflow totalement numérique. Cette manière de procéder nécessite un wax-up numérique (comme vu précédemment), puis l'usinage ou l'impression du mock-up. Dans les deux cas, il faudra tenir compte lors de la modélisation du masque, que celui-ci est constitué d'un seul bloc de résine, peu élastique. Ceci empêche une insertion dans les zones de contre dépouilles, comme la zone cervicale des incisives.

L'impression du mock-up est réalisée par une imprimante 3D (Figure 8). Le mock-up est construit par apposition de fines couches de matériau, directement photopolymérisé et disponible en différentes teintes (26). Il est possible d'imprimer plusieurs mock-ups en même temps, si différents projets sont à tester. À titre d'exemple, l'impression de 3 mock-ups différents pour une réhabilitation de 11 et 21 prend 28 minutes (27).



**Figure 8** : Mock-up imprimé puis vérifié sur le modèle imprimé lui aussi et issu de l'empreinte optique intra-orale.

Concernant l'usinage, il est réalisé dans des blocs de résines poly-méthacrylate de méthyle (PMMA), également disponible en différentes teintes (Figure 9). Le fichier .stl est extrait du module de modélisation et prêt pour l'usinage. Sortie de l'usineuse, le bloc de PMMA a un aspect brut, peu esthétique. Il convient alors de le maquiller et de le polir pour arriver à un résultat satisfaisant. Lors de l'insertion, un gel de glycérine assure la liaison optique entre les dents et la résine du mock-up (28).



**Figure 9 : Modélisation et usinage du mock-up en PMMA .**

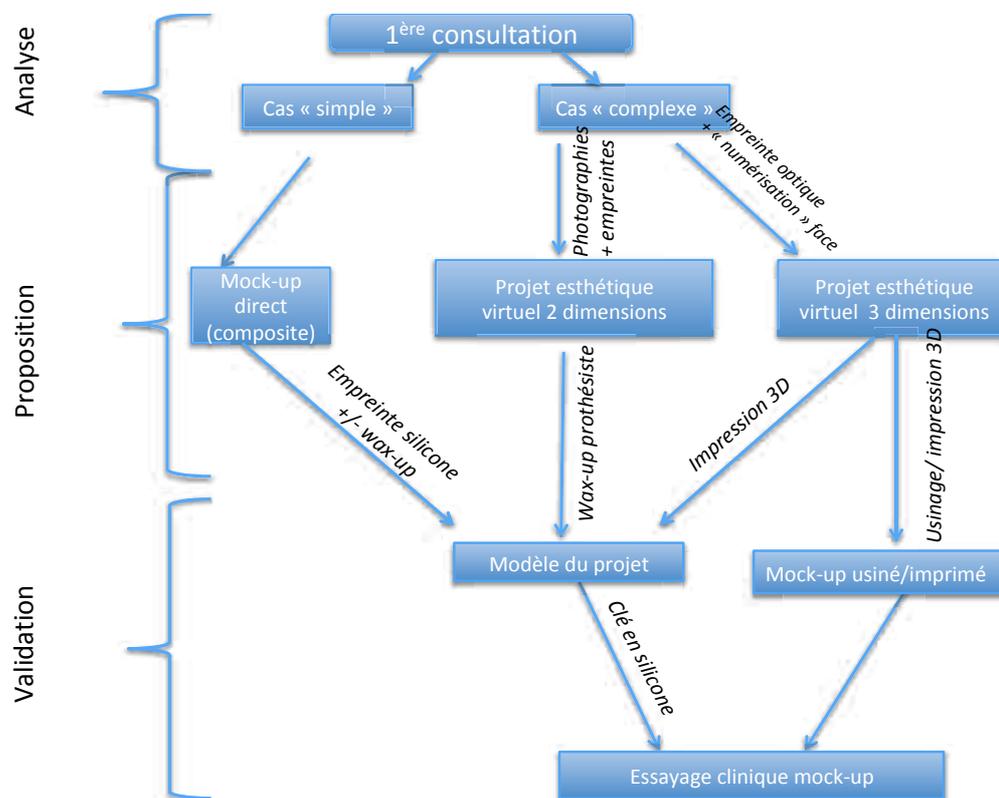
Dans le cas de projets multiples, ces mock-ups permettent donc une réduction du temps de travail par le prothésiste au laboratoire, et donc une réduction des coûts pour le praticien et le patient. En effet, une fois le premier projet modélisé sur ordinateur, il est aisé et rapide de le modifier pour en faire d'autres, quand le prothésiste doit, lui, reprendre sa céroplastie sur modèle. Par la suite, l'impression 3D est capable de produire plusieurs modèles en même temps, ce que ne peut pas faire une usineuse.

Néanmoins, il ne faut pas oublier l'investissement initial conséquent d'une telle chaîne de travail. Il faut aussi être conscient, comme dans tous les domaines nouveaux, de la présence d'une courbe d'apprentissage avant de devenir efficace, et de savoir manier les logiciels de modélisation. Enfin, la technique se heurte aux limites de précision des machines. L'imprimante 3D et l'usineuse ne peuvent produire une pièce respectivement plus fine de 0,3mm (27) et 0,4mm (donnés fabricant).

En somme, ces nouveaux procédés doivent être considérés comme une aide supplémentaire au sein de notre panel de compétences, mais ils ne doivent, et ne pourront en aucun cas se substituer au savoir-faire des prothésistes, dans une pratique quotidienne de cabinet libéral.

### II.3. Synthèse des différentes options cliniques pour la réalisation du mock-up

La figure 10 ci-dessous présente une synthèse des différentes options de travail permettant au praticien d'obtenir un projet esthétique et fonctionnel.



**Figure 10 :** Synthèse des différentes options cliniques aujourd'hui disponibles pour cheminer de la 1<sup>ère</sup> consultation à la validation clinique du projet, dans la réalisation d'un traitement esthétique.

### **III. Intérêt des mock-ups**

La pratique clinique du chirurgien-dentiste ne cesse de s'orienter vers des protocoles simples et reproductibles. En ce sens, la place des mock-ups dans notre arsenal thérapeutique gagne en importance, en accompagnant le chirurgien-dentiste tout au long de planification et de la réalisation de son plan de traitement. Ils apportent un intérêt dans la préfiguration du résultat esthétique, la communication avec le binôme patient-prothésiste, les phases de préparation des tissus (dentaires et gingivaux) et enfin la temporisation. Ils trouvent leur place tout au long du traitement et servent de « véritables GPS » une fois le projet validé (29).

#### **III.1. Préfiguration du résultat esthétique**

Prévisualiser le résultat d'un traitement esthétique avant toute procédure irréversible est essentielle pour le patient (7). Au préalable, la planification commence par une analyse rigoureuse du patient et de son sourire, à différentes échelles. Pour cela, la prise de photographies standardisées et d'empreintes permet au praticien une analyse esthétique initiale reproductible et détaillée (6). Cette analyse, associée à l'écoute des doléances du patient, débouche sur un ou plusieurs projets esthétiques (réels ou virtuels, voir III) qui lui seront proposés.

Le projet esthétique choisi est transposé en bouche sous la forme d'un mock-up.

Le recours à la technique des mock-ups a pour but d'objectiver et de valider *in vivo*, avant toute préparation, ce projet. Il permet de valider, avec l'accord du patient, l'esthétique, la fonction et la phonation (20). À ce stade du traitement, toute modification de forme, taille ou position peut être réalisée si l'intégration des futures restaurations dans le sourire et le visage du patient n'est pas optimale (30) (31)(32)(33).

### **III.2. Communication avec le patient**

L'aspect esthétique du sourire comme motif de consultation revêt de plus en plus d'importance (34). Dans ce but, la communication personnelle entre le praticien et le patient est de la plus haute importance. Elle commence avant même la première consultation par un questionnaire esthétique complémentaire au questionnaire médical conventionnel. Ce questionnaire permet de cibler précisément les attentes du patient quant à son nouveau sourire. Puis, vient la consultation à proprement parler, où la communication interactive s'installe. Cette première rencontre doit être une expérience que le patient ressent positivement (9). Cela aide à la mise en place d'une relation dans laquelle il se sent compris et en confiance. Cette entente favorise le succès de nos traitements et l'acceptation du patient de nos propositions thérapeutiques. Avec les outils numériques aujourd'hui disponibles, le patient peut appréhender le résultat final sur ordinateur. Néanmoins, il peut subsister des interrogations quant à sa perception réelle du nouveau sourire dans sa bouche, et les aspects fonctionnels (phonation, occlusion) doivent être vérifiés aussi. Dans ce but, le mock-up permet de valider le projet avec lui, et d'éviter toute désillusion future.

Certaines attentes, nourries par la vision des médias et de la publicité, comme une teinte « très blanche » et/ou une symétrie parfaite du sourire, ne sont pas les meilleures options thérapeutiques et le patient doit en prendre conscience. Le mock-up revêt alors une importance dans l'information du patient, et accompagne positivement le discours du praticien. Ainsi, il évite toute déception et participe à l'obtention d'un consentement éclairé du patient.

### **III.3. Guide de préparation**

Une fois le projet validé, commence la phase de mise en œuvre clinique, également facilitée par l'utilisation des mock-ups. En effet, sa mise en place permet de réaliser les préparations en tenant compte du volume et de la forme finale des restaurations, selon la technique dite de « préparations à travers les masques » (35). Cette fonction

de « guide » s'applique aussi bien aux préparations des tissus dentaires, que gingivaux (31).

### **III.3.1. Préparation gingivale**

L'analyse du sourire doit être globale et prendre en compte les tissus gingivaux, pour une intégration harmonieuse du sourire dans le visage du patient. Dans le cas de proportions dentaires dysharmonieuses ou d'un défaut mineur d'alignement des collets, une intervention au niveau gingival de type gingivectomie ou élongation coronaire peut être indiquée préalablement à la préparation dentaire. Le choix entre les deux techniques privilégie la gingivectomie, plus simple, mais limitée à des indications strictes, pour lesquelles, après sondage, l'espace biologique peut être respecté après correction (36). Si ce n'est pas le cas, il faut envisager une technique plus complexe, d'élongation coronaire (37)(11).

Ce type de modification est planifiée en amont, au moment de l'analyse esthétique. Le wax-up qui s'en suit est réalisé dans ce but. La cire est montée en addition sur le modèle, sans fraiser le plâtre. Si le modèle est fraisé, l'insertion de la clé en silicone est dérangée par la présence de la gencive en bouche. Dès lors, le positionnement est imprécis et c'est tout le projet qui n'est plus valable. L'intérêt du mock-up réside dans sa superposition par-dessus la gencive. Ainsi, la limite de la résine sert de guide pour l'opérateur dont l'instrument de découpe (bistouri électrique, lame froide, laser) doit suivre le contour. Il peut être judicieux d'utiliser une résine opaque et peu translucide pour que les épaisseurs, même très fines, soient visibles par-dessus la gencive (21).

La cicatrisation gingivale aux nouvelles limites est guidée par la mise en place des facettes provisoires si la taille est réalisée le jour même, ou par un simple composite flow déposé aux limites des futures restaurations.

### **III.3.2. Préparation dentaire**

Le principe de facette repose sur une préparation qui doit exclusivement, ou au moins majoritairement, être faite au sein de l'émail et non de la dentine. Ceci afin de maximiser la fiabilité de la restauration et de minimiser son risque d'infiltration (38). Aujourd'hui, la technique de préparation pour facettes vestibulaires est décrite très précisément, et en ce sens, la mise en place du mock-up joue un rôle crucial de conservation de l'émail. Proposée au début des années 2000 par le Dr Galip Gürel, la méthode repose sur l'idée de tailler les dents avec des fraises à butée d'enfoncement, à travers le mock-up (39). La profondeur de pénétration est contrôlée par la fraise à rainures (0,3 ou 0,4 mm). Des rainures horizontales vestibulaires et de réductions occlusales sont d'abord effectuées. Celles-ci sont marquées au crayon de papier avant de démonter le mock-up. Puis, les préparations sont égalisées jusqu'à la profondeur des traits de crayon. Enfin, elles sont finies par l'utilisation de fraises à granulométries différentes. De cette façon, les dents sont taillées en fonction du volume final de la dent restaurée, en préservant au maximum le tissu amélaire (37). Préparer à travers le mock-up rend donc les préparations homothétiques au projet esthétique, et non pas à la dent elle-même.

### **III.4. Temporisation**

Les facettes provisoires peuvent être réalisées directement au fauteuil, ou de manière indirecte par le laboratoire. Classiquement, c'est la méthode directe qui est privilégiée pour sa rapidité de mise en œuvre et son rendu tout à fait satisfaisant. Les restaurations provisoires sont confectionnées par injection de résine bis-acrylique dans la même clé en silicone que celle utilisée à l'étape de la validation du projet et des préparations. Cette étape pourrait être la moins prédictible dans la réalisation de facettes vestibulaires antérieures, car elle fait face à plusieurs défis.

Tout d'abord, le maintien des restaurations provisoires sur les préparations non rétentives. Il est uniquement permis par le blocage des excès de résine dans les embrasures et l'effet « bloc » des facettes provisoires adjacentes. Un mordantage punctiforme est possible sur chacune des faces vestibulaires afin d'augmenter

l'adhérence de la résine à la dent. De même, le risque de fracture, sur de telles épaisseurs de résine, reste présent. La solution réside dans la prévention du patient des attitudes à risques sur le décollement ou la fracture de ses provisoires. Enfin, il faut garantir au patient une esthétique suffisante le temps de la temporisation. Pour ces raisons, le chirurgien-dentiste doit s'efforcer de réduire au maximum la période de temporisation.

## Partie II :

# Étude Clinique : évaluation de la précision de reproductibilité des mock-ups selon deux méthodologies

## **I. Problématique**

Bien que la technique des mock-ups présente des intérêts indéniables dans la réalisation d'un traitement à visée esthétique, l'étape cruciale de sa mise en place en bouche, par l'insertion d'une clé en silicone chargée en résine, reste opérateur-dépendante. Or, tous les intérêts évoqués jusqu'à présent n'ont de sens que si la technique est fiable et reproductible. En effet, si l'insertion de la clé est incomplète, toutes les étapes ultérieures, qui reposent sur une position précise du mock-up, sont erronées. C'est pourquoi nous avons voulu étudier la précision de reproductibilité des mock-ups, selon deux méthodes, afin de répondre à **deux hypothèses** de départ :

- i. **le mock-up est reproductible avec une plage de déviations sans conséquences cliniques,**
- ii. **la méthode de fabrication de la clé n'influence pas la reproductibilité du mock-up.**

## **II. Matériels et Méthodes**

### **II.1. Principe et matériels de l'étude**

L'étude s'est fondée sur un ensemble de 20 mock-ups des dents 12 à 22, tous réalisés sur le même patient. Dix d'entre eux sont obtenus à partir d'une clé en silicone de laboratoire (LAB Key), et dix autres à partir d'une clé en silicone de cabinet (CHAIR key). Chaque mock-up, une fois mis en place, a été numérisé en 3D

par un scannage optique intra-oral de toute l'arcade maxillaire. Ce scannage a été comparé à celui du duplicata en plâtre du wax-up initial, défini comme référence. Les données ont ensuite été traitées à l'aide d'un logiciel d'analyse 3D. L'ensemble des matériaux et matériels de l'étude sont présentés dans le tableau suivant.

Matériels	Fabricant	Lot N°	Dureté Shore
Honigum Putty Soft (Chair Key)	DMG, Germany	792471	62
Honigum Light (Chair Key)	DMG, Germany	789869	48
Lutesil 96 (Lab Key)	Bisico, France	005114/0716	96
Exakt N (Lab Key)	Bisico, France	702144	ns
Universal Paste Hardener (Lab Key)	Bisico, France	180081	ns
Luxatemp Star	DMG, Germany	796623	ns
Impression Tray Solid N.5, 2802-U5	ASA Dental, Italy	ns	ns
Fujirock EP (Wax-up model plaster)	GC, Japan	1706075	ns
Orthodontic Stone (Master model plaster)	American Orthodontics, USA	18030208	ns
Trios 3 intra-oral scanner	3 Shape (Lyra, France)	ns	ns
Geomagic Control X	3D Systems, USA	ns	ns
Spss Statistics	IBM,USA	Version 26	ns

***Tableau 1 : Matériaux et matériels de l'étude***

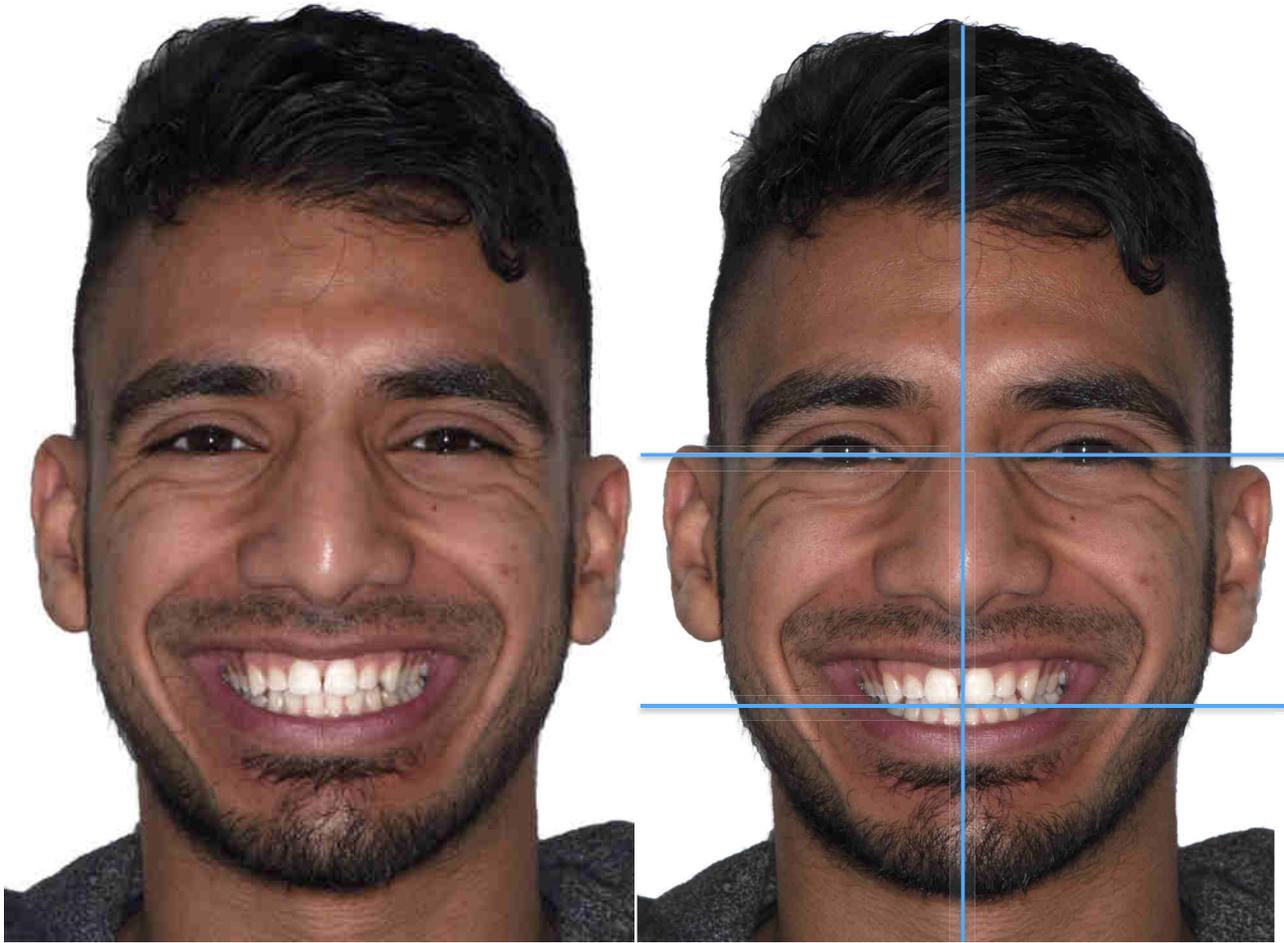
## **II.2. Présentation du cas clinique**

Le patient choisi présente un sourire pour lequel une réhabilitation esthétique peut être envisagée. Il présente à l'échelle extra-orale (Figure 11) :

- un visage ovalaire,
- un plan bi-pupillaire parallèle au plan du sourire,
- un sourire gingival exposant 0,5mm de gencive au niveau des incisives centrales et 2 à 3 mm au niveau des incisives latérales,
- un visage symétrique par rapport au plan sagittal médian,
- un milieu inter-incisif maxillaire décalé vers la droite de 1 mm par rapport au plan sagittal médian.

A l'échelle intra-orale, nous observons (Figure 12) :

- un diastème inter-incisif central,
- une microdontie des incisives latérales légère,
- des embrasures occlusales larges entre canines et incisives,
- le zénith gingival de la 21 plus haut de 1mm,
- un parodonte sain,
- une hygiène correcte.



*Figure 11 : Prises de vue extra-orales*



*Figure 12 : Prises de vue intra-orales*

### II.3. Projet esthétique

L'apport des outils numériques, disponibles aujourd'hui dans la communication entre tous les acteurs du traitement est considérable (19).

Le choix de passer par un photoshop smile design compte ici deux objectifs. Tout d'abord proposer au patient deux projets, puis guider le prothésiste dans la réalisation de son wax-up par rapport au projet retenu, afin de lui donner les contours et dimensions des futures restaurations. Pour ce faire, deux photographies du patient sont prises :

- une photo intra-buccale sur laquelle les formes des dents sont retouchées (Figure 13)
- une photo extra-buccale du patient (Figure 14), sur laquelle est superposée la vue intra-buccale avec le nouveau sourire

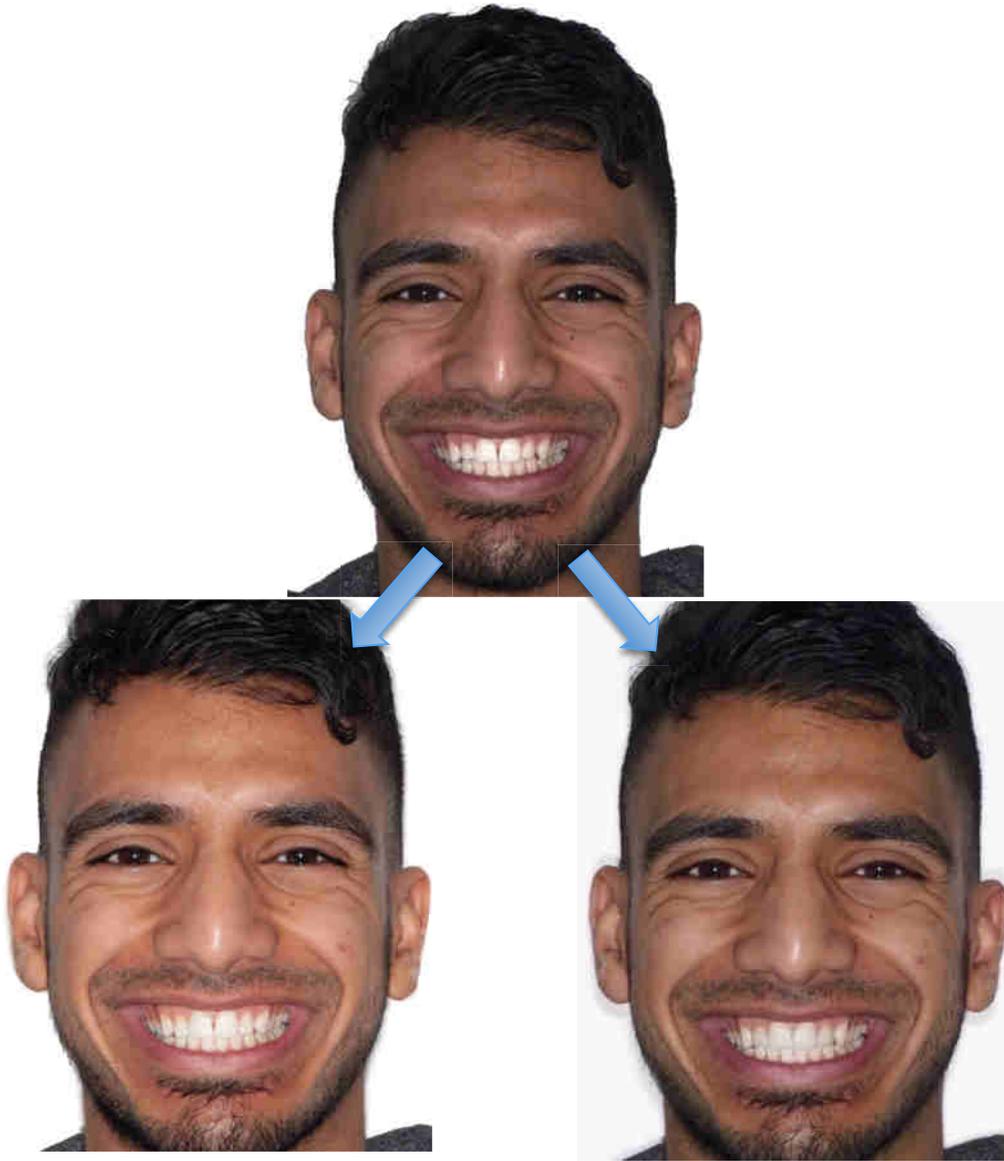
Pour prévenir les erreurs de parallaxe, plusieurs photographies intra-buccales peuvent être prises à différentes angulations (8). Celle qui se rapproche au plus de l'inclinaison de la photo portrait est conservée pour la superposition.

Après modification du sourire en intra-buccale, le nouveau sourire est intégré sur la photo de face. Dans ce cas, nous avons proposé deux projets qui diffèrent entre eux par la fermeture de diastème partielle ou totale.

Le projet retenu par le patient est celui où la fermeture de diastème est complète.



**Figure 13** : Avant - après des modifications intra-orales en suivant les contours d'un mock-up de formes idéales



**Figure 14** : *Projets esthétiques proposés au patient avec fermeture de diastème partielle (gauche) ou complète (droite).*

#### **II.4. Réalisation du Wax-up**

Dès lors que le projet a été validé, les informations sont transmises au prothésiste pour l'élaboration du wax-up. Seuls les contours des futures restaurations sont conservés, pour que le prothésiste puisse acter du changement, et passer de l'écran au modèle facilement (Figure 15). Les empreintes de la situation initiale sont réalisées en « wash technique » (silicone par addition Honigum Putty Soft DMG®, Honigum Light DMG®). Elles sont coulées en plâtre de classe IV (Fuji Rock EP, GC®).



**Figure 15** : Photographies transmises au prothésiste afin de guider l'élaboration du wax-up. Réalisation M. Thomas BERNIERE, laboratoire des HUS.

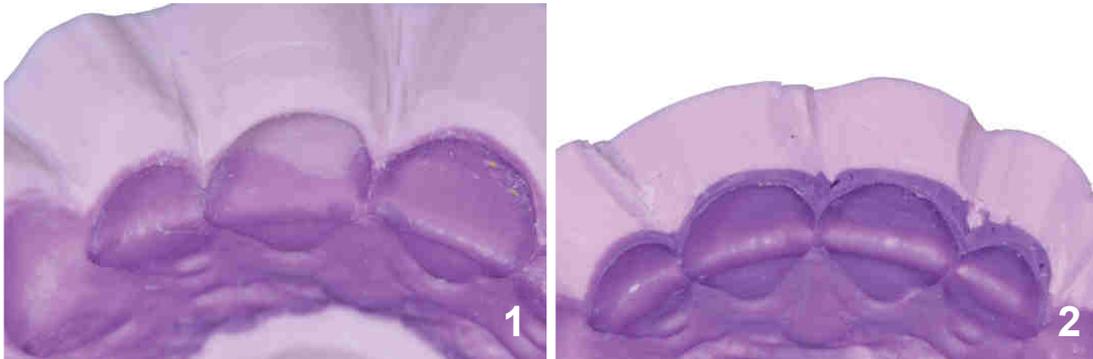
Une fois le wax-up terminé, le prothésiste en réalise un duplicata en plâtre extra-dur pour modèles orthodontiques (Orthodontic Stone, American Orthodontics®), qui est considéré comme le **modèle de référence**, et sur lequel sont préparées les deux clés en silicone à tester. Le plâtre dans lequel est coulé le duplicata présente un coefficient d'expansion après 2 heures de 0,09 %, que nous considérons comme négligeable pour la suite de l'étude.

## II.5. Réalisation de la clé de laboratoire (LAB Key)

Cette clé est préparée au laboratoire sur le duplicata du wax-up, à l'aide d'un silicone par condensation (Lutesil 96<sup>®</sup>, BISICO), putty et light, en deux temps. Nous avons veillé, lors de la désinsertion du putty, à ce que celui-ci soit allé au contact direct des dents, sans déchirure dans le matériau. De même, à la désinsertion du light, nous nous sommes assurés qu'il ait fusé dans l'intégralité de la clé.

En effet, le but recherché est un coffrage putty le plus précis possible, avec une épaisseur de light qui soit très fine et homogène. Si l'épaisseur de light devait être trop grande, il pourrait subir à l'insertion du mock-up un phénomène de compression

par la résine, et c'est précisément ce que l'on cherche à éviter car l'épaisseur finale du mock-up en serait augmentée (Figure16).



**Figure 16** : *Une erreur de conception de la clé favorise une mauvaise insertion du mock-up. Ici, le light n'a pas fusé dans l'intégralité de la zone d'intérêt (1), ou son épaisseur est trop grande (2).*

Après réticulation du silicone, il est très répandu de découper la clé en suivant le collet des dents. Cette option a été proposée pour faciliter le retrait des excès après polymérisation de la résine. Enfin, le milieu inter-incisif est marqué (trait de crayon ou encoche au bistouri) pour favoriser un bon repositionnement (Figure17).



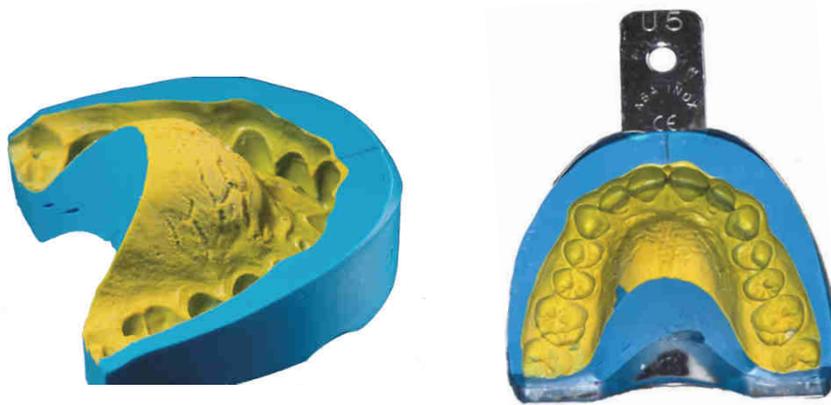
**Figure 17** : *Clé de transposition en silicone de laboratoire (LAB key) finale.*

## II.6. Réalisation de la clé de cabinet (CHAIR Key)

Pour cette seconde clé, une empreinte en deux temps avec un silicone par addition putty et light (Honigum Putty Soft DMG®, Honigum Light DMG®), a été réalisée sur le duplicata en deux temps ici aussi. A chaque temps, le silicone est coffré par un

porte-empainte métallique lisse et rigide (porte-empainte « Regular » U5, ASA DENTAL®).

La découpe de la clé est ici horizontale, en laissant 5 mm au-delà du collet des dents antérieures (Figure 18).



*Figure 18 : Clé de transposition en silicone par addition (CAB key) finale.*

## **II.7. Protocole de mise en place**

La méthode suivie et répétée pour la mise en place du mock-up en fonction du type de clé est la suivante :

### Clé de cabinet :

- Séchage des surfaces dentaires
- Injection de la résine bys-acrylique (Luxatemp Star® DMG) dans la clé de 12 à 22 en débutant par le bord libre pour éviter au maximum l'apparition de bulle
- Insertion de la clé
- Insertion du porte-empainte
- Maintien 2'30 en place par un appui 4 doigts
- Désinsertion du porte-empainte
- Désinsertion de la clé

- Élimination de la couche inhibée de surface avec un coton imbibé d'alcool
- Élimination de tous excès de résine sur les dents autres que 12 à 22
- Séchage des surfaces dentaires
- Photographie
- Empreinte optique
- Démontage du mock-up

Clé de laboratoire :

- Séchage des surfaces dentaires
- Injection de la résine bys-acrylique (Luxatemp Star® DMG) dans la clé de 12 à 22 en débutant par le bord libre pour éviter l'apparition de bulle
- Insertion de la clé
- Maintien 2'30 en place par un appui 4 doigts
- Désinsertion de la clé
- Élimination de la couche inhibée de surface avec un coton imbibé d'alcool
- Élimination de tous excès de résine sur les dents autres que 12 à 22
- Photographie
- Empreinte optique
- Démontage mock-up

Le mock-up en place donne un rendu très réaliste, qui permet au patient de pré-visualiser son futur sourire (Figure 19).



*Figure 19 : prévisualisation de l'intégration du projet esthétique dans le sourire et le visage du patient*

## **II.8. Acquisition des données**

Chacun des 20 mock-ups ainsi que le modèle plâtre du duplicata du wax-up sont numérisés grâce à la caméra optique Trios 3, 3Shape®, et enregistrés au format .stl. L'empreinte optique n'a pas uniquement concerné le secteur antérieur, mais a été étendue sur tout le maxillaire, pour garantir par la suite une superposition correcte des modèles entre eux. La zone antérieure a été scannée en mode « zoom », ce qui assure une précision maximale.

## **II.9. Traitement des données**

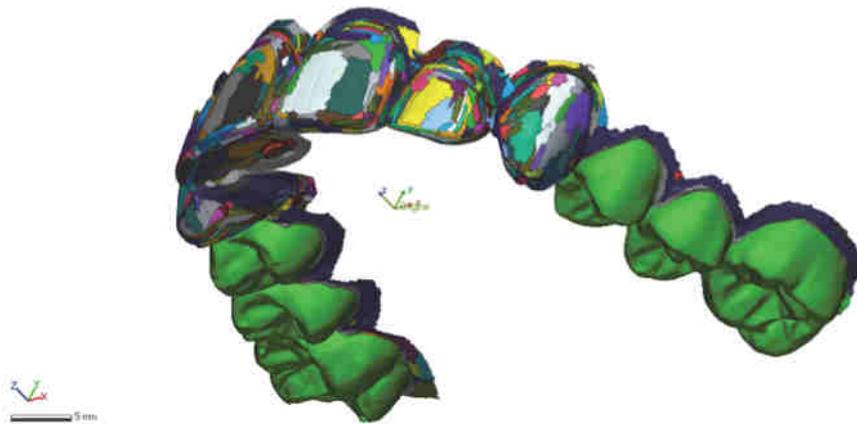
Le traitement des données obtenues est fait sur le logiciel d'analyse 3D Geomagic Control X, 3DSystems®, pendant la période d'essai offerte. Le logiciel impose de définir un fichier en tant que référence. Le duplicata du wax-up, en plâtre, est défini comme tel, et servira à deux reprises lors de l'analyse. Tout d'abord, pour y

superposer le scan .stl de chaque mock-up scanné. Ensuite, comme référence de comparaison pour chaque fichier. Chaque .stl est importé et comparé individuellement à la référence, selon un protocole identique.

### II.9.1. Préparation d'un modèle de référence

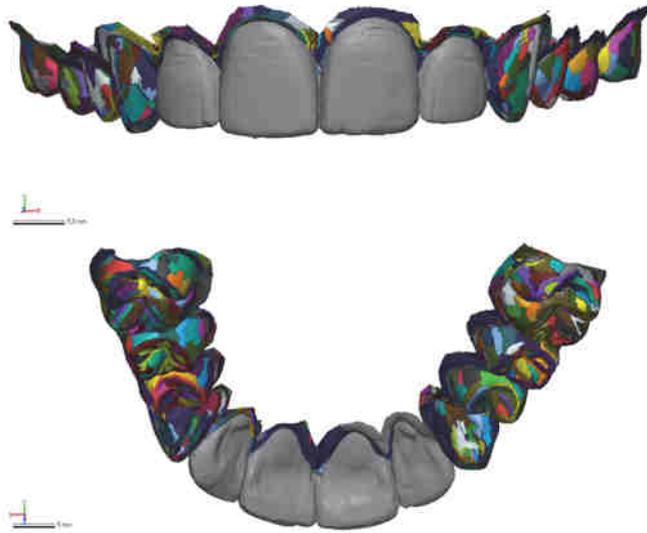
Le modèle de référence est segmenté en deux régions distinctes.

La première région, postérieure, concerne les dents 14, 15, 16 et 24, 25, 26 (Figure 20). Ces dents constituent une zone de référence non waxée, invariante entre chaque scan, et va servir à la superposition des 2 modèles (référence + scan du mock-up). La canine, parfois recouverte par les excès de résine du mock-up, a été exclue de cette zone pour éviter tout artéfact qui pourrait fausser l'alignement des modèles. Il en est de même pour les deuxièmes molaires maxillaires, dont l'enregistrement par empreinte optique n'était pas suffisamment constant sur chaque fichier.



**Figure 20** : Zone postérieure segmentée (ici en vert) sur le modèle de référence

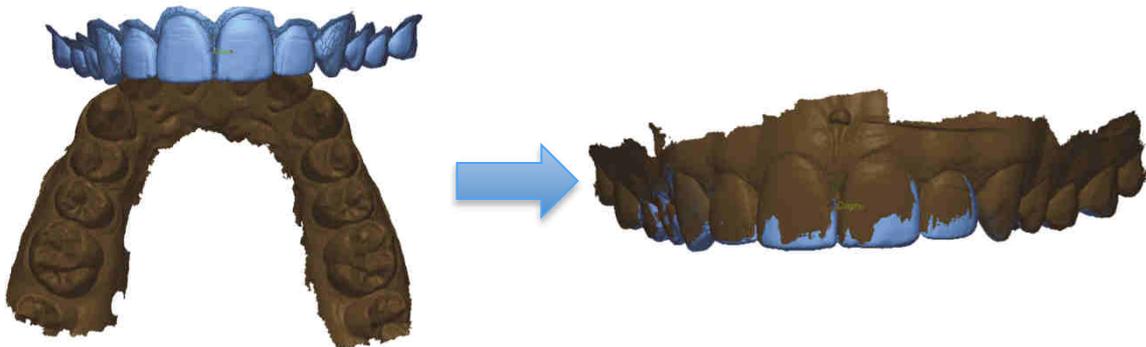
La seconde région s'intéresse aux dents waxées antérieures, à savoir : 12 à 22. Cette région est concernée au moment de la comparaison de chaque scan des mock-ups, avec la référence (Figure 21).



**Figure 21** : Zone antérieure segmentée (ici en gris) sur le modèle de référence

## II.9.2. Alignement des modèles

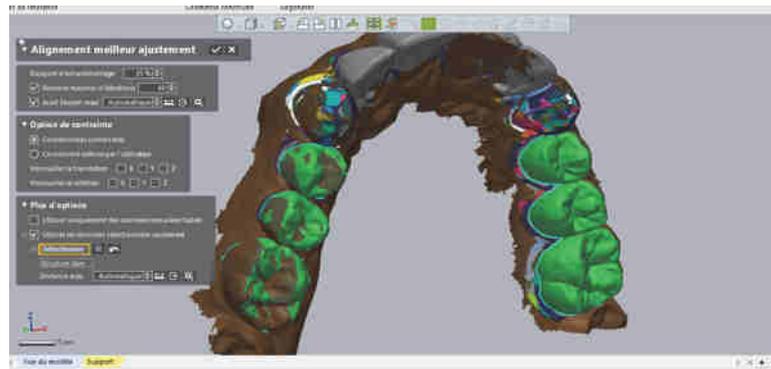
Après avoir importé le scan du mock-up, un alignement initial avec la référence est effectué automatiquement par le logiciel (Figure 22).



**Figure 22** : L'alignement initial entre le modèle de référence et le scan du mock-up est réalisé automatiquement.

Puis, la fonction « Best Fit Alignment » permet d'ajuster l'alignement des modèles de la façon la plus précise possible. Il faut considérer les deux scans (référence + intra-

oral) comme un nuage de points. L'ordinateur affine l'alignement en calculant la distance la plus faible possible entre deux points. La fonction est répétée 40 fois. Celle-ci est exécutée en ne prenant en compte que la région postérieure, ici sélectionnée en vert (Figure 23). De cette manière, les déviations du secteur antérieur ne rentrent pas dans le calcul du Best Fit.

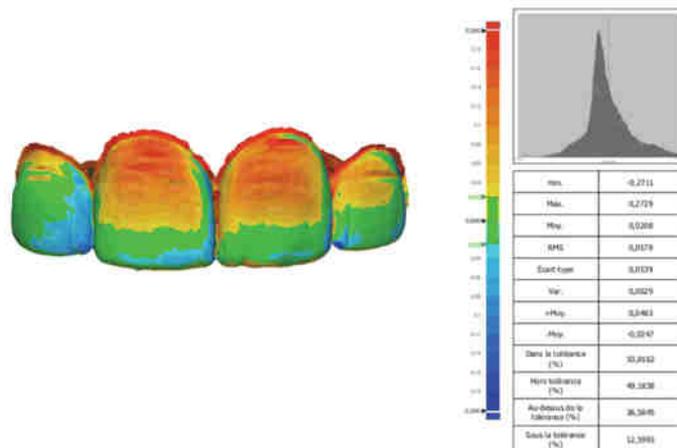


**Figure 23** : L'alignement Best Fit est opéré en ne sélectionnant que la zone postérieure (représentée en vert)

À l'issue de cet alignement plus précis, un rapport, qui nous permet d'apprécier la qualité du repositionnement, est généré (Tableaux 2 et 3).

### II.9.3. Comparaison 3D

Telle que définit dans notre première hypothèse, nous cherchons à confirmer ou à infirmer que la technique du mock-up est reproductible, avec une plage de déviations sans conséquences cliniques. La comparaison s'effectue entre la zone antérieure préparée sur le modèle de référence et son équivalent sur le scan intra-oral, les 2 fichiers étant désormais superposés le plus précisément possible. Un rapport est généré sur la comparaison (Figure 24). Les données du rapport qui nous intéressent alors sont les moyennes des écarts positifs et négatifs. Si la valeur est positive, le mock-up est en surépaisseur par rapport au modèle de référence en plâtre, et inversement si elle est négative. La manipulation est répétée pour les 20 modèles.



**Figure 24** : Exemple du rapport de comparaison généré pour un modèle donné (ici mock-up 9 clé Chairside) avec la référence

### II.9.4. Analyse statistique des résultats

L'ensemble des tests statistiques ont été conduits sous SPSS Statistics (v. 26 ; IBM®). Pour notre première hypothèse, la déviation positive moyenne et la déviation négative moyenne sont reportées pour chaque méthode dans les tableaux 4, 5, 6 et les figures 25 et 26.

Pour notre deuxième hypothèse, à savoir : si le changement d'une variable qualitative, en l'occurrence la méthode de fabrication de la clé, influe sur la moyenne des écarts positifs et négatifs, les résultats sont reportés dans les tableaux 7 et 8. Le test de Levene prouvant une homogénéité des moyennes entre les deux groupes (tableaux 9 et 10), nous avons eu recours à une analyse des variances à 1 facteur (1-way ANOVA). Le niveau de signification est fixé à  $p < 0,05$ .

## III. Résultats

### III.1. Validation de l'alignement informatique initial

Les écarts d'alignement après application de la fonction 'best fit' permettent d'apprécier les erreurs imputables aux enregistrements intra-oraux eux-mêmes et par conséquent indépendantes du mock-up. Cette plage d'erreur doit être considérée comme n'intervenant pas dans les conclusions des futures

comparaisons. Dans le cas des clés de cabinet comme de celles de laboratoire (Tableau 2 et Tableau 3), l'alignement est régulier entre toutes les clés, avec une marge moyenne de 20 microns environ.

Moyennes Best Fit (Clé CHAIR)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Moyenne	0,0108	0,018	0,0245	0,02	0,0206	0,0182	0,0203	0,02	0,0189	0,0188
	mm	µm								
Moyenne	0,02	19,01								
Écart-type	0,00	3,42								

**Tableau 2** : Résultat des moyennes après Best Fit Alignment en millimètres et en microns (Clé de cabinet)

Moyennes Best Fit (Clé LAB)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Moyenne	0,0213	0,0192	0,0189	0,0215	0,0215	0,018	0,0146	0,0201	0,0205	0,0216
	mm	µm								
Moyenne	0,02	19,72								
Écart-type	0,00	2,19								

**Tableau 3** : Résultat des moyennes après Best Fit Alignment en millimètres et en microns (Clé de laboratoire)

## III.2. Comparaison 3D

### III.2.1. Comparaison toutes clés confondus

Moyennes des écarts		
Clés	Écarts positifs (mm)	Écarts négatifs (mm)
Cab 1	0,0896	-0,1599
Cab 2	0,1006	-0,0908
Cab 3	0,1731	-0,1283
Cab 4	0,0888	-0,0661
Cab 5	0,0753	-0,0683

Cab 6	0,0749	-0,0567			
Cab 7	0,0704	-0,0577			
Cab 8	0,0998	-0,0604			
Cab 9	0,0483	-0,0247			
Cab 10	0,093	-0,0812			
Lab 1	0,0556	-0,0989			
Lab 2	0,0661	-0,1565	Écarts négatifs		
Lab 3	0,0842	-0,1576		mm	µm
Lab 4	0,0754	-0,1763	Moyenne	-0,12	-117,57
Lab 5	0,074	-0,1847	Écart-type	0,05	51,29
Lab 6	0,0831	-0,1712			
Lab 7	0,0643	-0,1378	Écarts positifs		
Lab 8	0,0784	-0,1912		mm	µm
Lab 9	0,0824	-0,1573	Moyenne	0,08	81,80
Lab 10	0,0587	-0,1257	Écart-type	0,03	25,63

**Tableau 4** : Moyennes des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètre pour les 20 clés

En considérant les 20 clés, sans distinction de la méthode de réalisation, les moyennes des écarts positifs et négatifs sont respectivement de  $+81,80 \pm 25,63 \mu\text{m}$  et  $-117,57 \pm 51,29 \mu\text{m}$ .

### III.2.2. Comparaison entre les clés de cabinet

Les résultats de la comparaison des mock-ups issus de la clé chairside avec le modèle de référence donnent les moyennes des écarts positifs et négatifs (tableau 3). Elles sont respectivement de  $+91,38 \pm 32,78 \mu\text{m}$  et  $-79,41 \pm 38,94 \mu\text{m}$ . Dans le détail, les divergences positives s'étalent entre  $+48,3 \mu\text{m}$  et  $+173,1 \mu\text{m}$  quand les négatives varient entre  $-24,7 \mu\text{m}$  et  $-159,9 \mu\text{m}$ .

Moyenne des écarts positifs en millimètres (Clé de cabinet)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clé cabinet (mm)	0,0896	0,1006	0,1731	0,0888	0,0753	0,0749	0,0704	0,0998	0,0483	0,093
Clé cabinet (µm)	89,6	100,6	173,1	88,8	75,3	74,9	70,4	99,8	48,3	93
	mm	µm								
Moyenne	0,09	91,38								
Écart-type	0,03	32,78								
Moyenne des écarts négatifs en millimètres (Clé de cabinet)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clé cabinet (mm)	-0,1599	-0,0908	-0,1283	-0,0661	-0,0683	-0,0567	-0,0577	-0,0604	-0,0247	-0,0812
Clé cabinet (µm)	-159,9	-90,8	-128,3	-66,1	-68,3	-56,7	-57,7	-60,4	-24,7	-81,2
	mm	µm								
Moyenne	-0,08	-79,41								
Écart-type	0,04	38,94								

**Tableau 5 :** Moyenne des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètres et en microns (Clé de cabinet)

Cependant, ces mesures révèlent la présence de valeurs aberrantes pour la moyenne des écarts positifs du mock-up n°3 et la moyenne des écarts négatifs pour le mock-up n°1. Après examen attentif des scans, ces valeurs aberrantes sont expliquées par la présence de bulles dans le mock-up. Si le calcul est repris sans ces valeurs aberrantes, **une moyenne des écarts positifs et négatifs de  $+82,3 \pm 16,78 \mu\text{m}$  et  $-70,47 \pm 28,38 \mu\text{m}$**  est alors calculée. Néanmoins, l'analyse statistique des données, aussi bien descriptive que comparative, a été réalisée en incluant ces valeurs aberrantes.

### III.2.3. Comparaison entre les clés de laboratoire

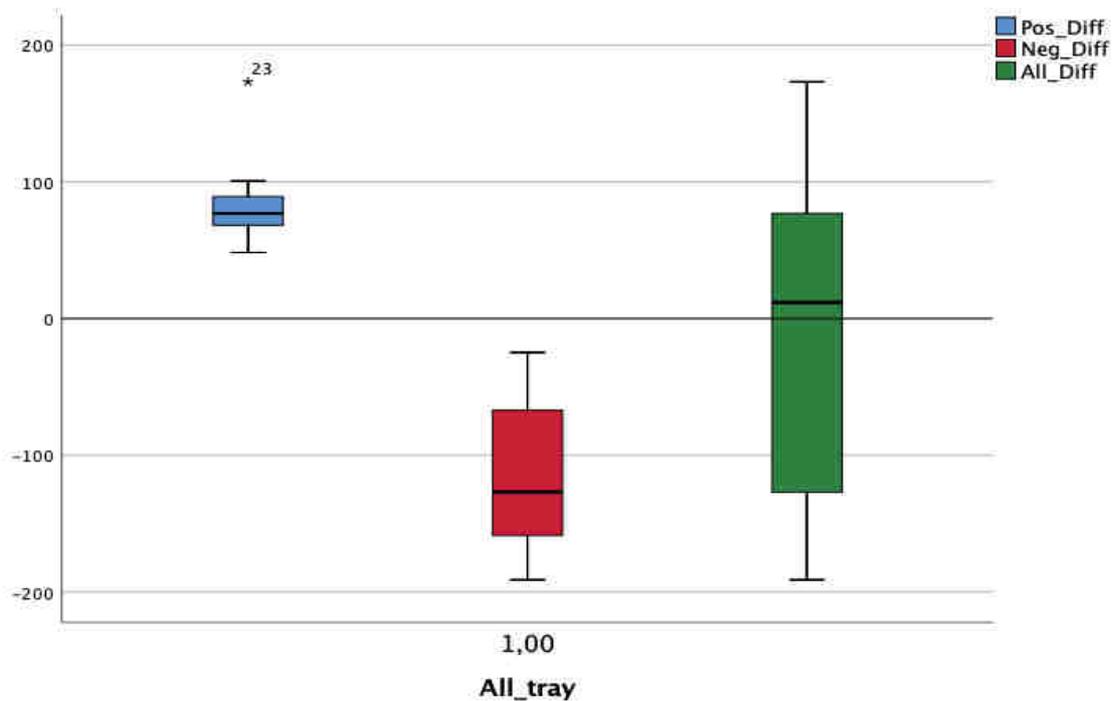
Moyenne des écarts positifs en millimètres (Clé LAB)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clé labo (mm)	0,0556	0,0661	0,0842	0,0754	0,074	0,0831	0,0643	0,0784	0,0824	0,0587
Clé labo (µm)	55,6	66,1	84,2	75,4	74	83,1	64,3	78,4	82,4	58,7
	mm	µm								
Moyenne	0,07	72,22								
Écart-type	0,01	10,41								
Moyenne des écarts négatifs en millimètres (Clé LAB)										
Mock-up	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Clé labo (mm)	-0,0989	-0,1565	-0,1576	-0,1763	-0,1847	-0,1712	-0,1378	-0,1912	-0,1573	-0,1257
Clé labo (µm)	-98,9	-156,5	-157,6	-176,3	-184,7	-171,2	-137,8	-191,2	-157,3	-125,7
	mm	µm								
Moyenne	-0,16	-155,72								
Écart-type	0,03	28,32								

*Tableau 6 : Moyenne des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètres (Clé LAB)*

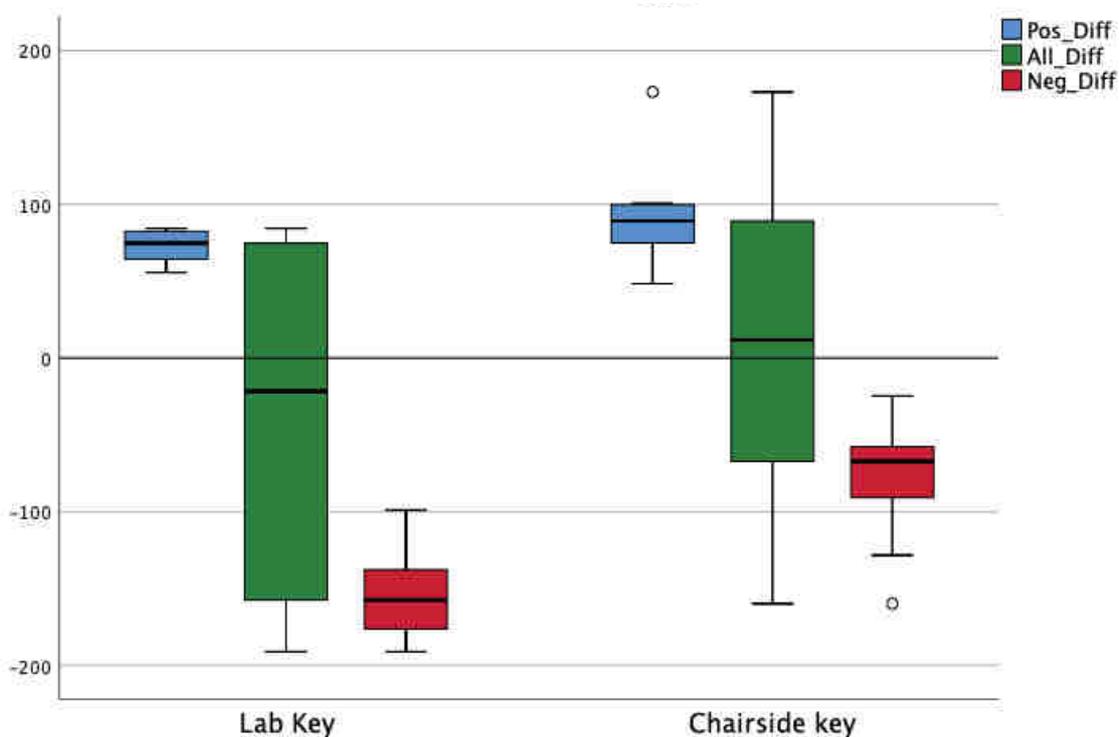
Les **moyennes des écarts positifs et négatifs** pour les comparaisons des mock-ups issus de la clé de laboratoire sont respectivement de **+72,22 ± 10,41µm** et **-155,72 ± 28,32 µm**. Les valeurs extrêmes des écarts positifs s'étalent de +55,6 µm à +84,2 µm, et de -98,9 µm à -191,2 µm pour les écarts négatifs.

## IV. Analyse statistique descriptive des résultats

L'analyse descriptive vise à répondre à notre première hypothèse : la reproductibilité des mock-ups restent dans une plage de variation compatible avec son indication en bouche. Pour cela, nous avons calculé et présenté ci-après les boîtes à moustaches pour l'ensemble des 20 mock-ups toutes clés confondues (Figure 25), puis en distinguant chaque type de clé (Figure 26).



**Figure 25 :** Toutes méthodes confondues (LAB et CHAIR keys) la médiane de dispersion des valeurs est proche de 0. Les valeurs maximales ne dépassent pas 100 $\mu$ m de différences positives mais dépassent cette valeur en négatif



**Figure 26 :** Boxplots des différences positives (bleu), négatives (rouge) et des deux réunies (vert), pour chaque type de clé

L'interprétation clinique de ces valeurs est plutôt rassurante dans le sens où celles-ci s'échelonnent entre +80µm et -120µm. Corréliées à la plage d'erreur initialement définie (+/- 20 µm liée au scannage lui-même), cela représenterait un maximum de -140µm de décalage négatif, c'est-à-dire plus en dedans du volume souhaité ; et un maximum de +100µm de décalage positif, c'est-à-dire en dehors du volume du masque souhaité. Comme nous le verrons dans la discussion, cet écart reste compatible avec une préparation au sein de l'émail lorsque son épaisseur résiduelle est physiologique.

## V. Analyse statistique comparative des résultats

Notre deuxième hypothèse proposait que la technique de fabrication de la clé n'ait aucune influence sur la précision de reproductibilité.

L'analyse statistique comparative commence par un test de Levene appliqué à chaque différence (positive et négative), qui prouve une homogénéité des moyennes pour chaque groupe de valeurs mesurées avec les deux clés (Tableaux 7 et 8). Ce test autorise l'application d'une comparaison des moyennes à l'aide d'un test de type 1-way ANOVA.

Test d'homogénéité des variances					
		Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Sig.
Pos_Diff	Basé sur la moyenne	2,006	1	18	,174
	Basé sur la médiane	1,903	1	18	,185
	Basé sur la médiane avec ddl ajusté	1,903	1	9,988	,198
	Basé sur la moyenne tronquée	1,837	1	18	,192

**Tableau 7 :** *Test de Levene appliqué aux moyennes des différences positives. La distribution des valeurs est homogène entre les deux groupes*

<b>Test d'homogénéité des variances</b>					
		Statistique de Levene	ddl1	ddl2	Sig.
Neg_Diff	Basé sur la moyenne	,616	1	18	,443
	Basé sur la médiane	,269	1	18	,610
	Basé sur la médiane avec ddl ajusté	,269	1	14,876	,611
	Basé sur la moyenne tronquée	,608	1	18	,446

**Tableau 8** : Test de Levene appliqué aux moyennes des différences négatives. La distribution des valeurs est homogène entre les deux groupes

La moyenne des écarts positifs est supérieure pour la clé CHAIR par rapport à celle de la clé LAB, respectivement +91,38  $\mu\text{m}$  et +72,22  $\mu\text{m}$ . Cependant, les résultats des analyses de variances pour les écarts positifs ne montrent pas de différences significatives pour un intervalle de confiance à 95% entre les deux groupes ( $p=0,095$ ) (Tableau 9).

<b>1-way ANOVA</b>					
Pos_Diff					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Intergroupes	1835,528	1	1835,528	3,103	,095
Intragroupes	10648,912	18	591,606		
Total	12484,440	19			

**Tableau 9** : Rapport de l'ANOVA pour les écarts positifs

Les résultats obtenus pour les écarts négatifs des mock-ups issus de la clé CHAIR et de la clé LAB indiquent des moyennes en faveur de la première, puisque respectivement de  $-79,41\mu\text{m}$  et  $-155,72\mu\text{m}$ . L'analyse des variances montrent ici une différence significative entre les deux clés ( $p < 0,05$ ) (Tableau 10).

<b>1-way ANOVA</b>					
Neg_Diff					
	Somme des carrés	ddl	Carré moyen	F	Sig.
Intergroupes	29116,080	1	29116,080	25,120	,000
Intragroupes	20863,345	18	1159,075		
Total	49979,425	19			

**Tableau 10** : Rapport de l'ANOVA pour les écarts négatifs

## VI. Discussion

La présente étude avait pour objectifs de répondre à nos deux hypothèses de départ :

- i. le mock-up est reproductible avec une plage de déviations sans conséquences cliniques,
- ii. la méthode de fabrication de la clé n'influence pas la reproductibilité du mock-up.

Pour cela, nous avons mis en place et scanné 20 mock-ups *in vivo*, puis les avons comparés au modèle de référence, grâce à un logiciel de métrologie. La séquence de mise en place et de traitement des données a été répétée selon le même protocole et par le même opérateur.

### VI.1. Alignement des modèles à la référence

Définir une référence avant le traitement des données nous permet d'obtenir un modèle d'alignement et de comparaison qui soit reproductible entre chaque fichier .stl. Le modèle est segmenté en amont et permet de l'importer, déjà préparé, pour tous les fichiers. Les excès de résine ayant fusé sur le palais et sur la canine risquaient de créer une surépaisseur ; c'est pourquoi la zone postérieure servant de référence au repositionnement n'a concernée que les tissus durs, de la première prémolaire à la première molaire des secteurs 10 et 20. De cette façon, les erreurs de repositionnement sont minimisées (40).

L'alignement des modèles a été fait en deux temps. Un premier alignement automatique, puis un alignement « Best Fit ». Ce deuxième alignement est effectué par superposition de la zone postérieure uniquement, zone qui reste théoriquement inchangée entre les différentes empreintes optiques et le modèle de référence car aucune cire n'a été rajoutée. Un premier rapport est édité à l'issue du « Best Fit ».

On remarque sur le rapport d'alignement des fichiers CHAIR que le mock-up 3 présente une moyenne des écarts après alignement plus élevée que pour le reste du groupe. Le test a été répété en obtenant des valeurs strictement identiques. Ces écarts sur l'alignement sont corroborés par les valeurs de comparaisons du secteur

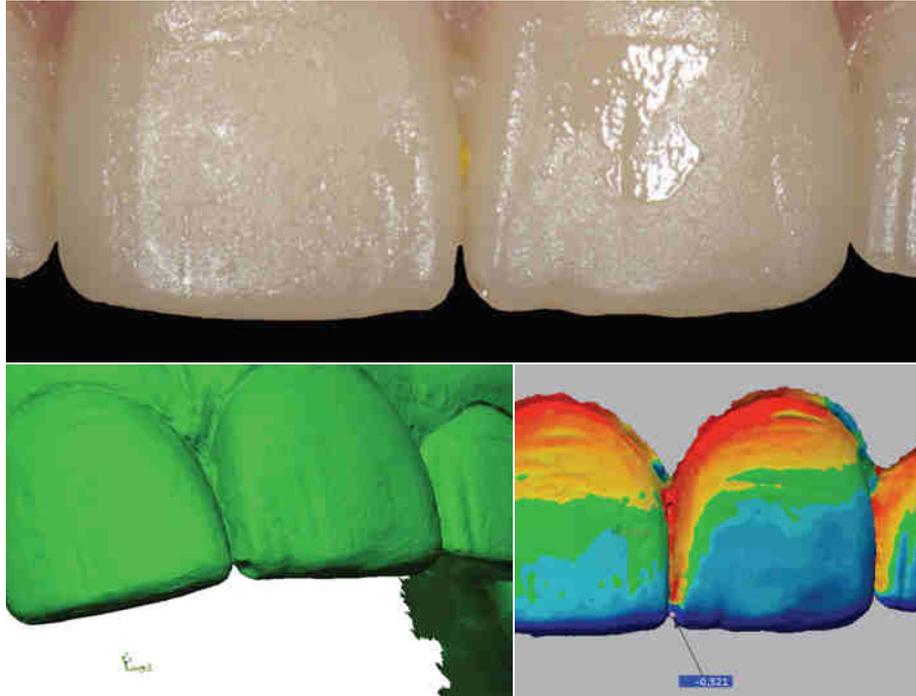
antérieur pour le mock-up 3 (Tableau 5), qui rapportent des écarts positifs et négatifs supérieurs par rapport aux autres mock-ups.

L'ensemble des valeurs pour l'alignement reste néanmoins inférieur à 0,025 mm. En 2020, Winkler et Gkantidis ont conduit une étude *in vivo* sur la précision de scanners intraoraux, dont la Trios 3. En considérant l'arcade maxillaire, les valeurs de déviations entre deux empreintes de la même arcade, scannée par une caméra s'étalent de 0,02 mm à 0,04 mm (37). Toute déviation en dessous de 0,02 mm peut donc être expliquée par la limite de précision de la caméra. Malgré une valeur maximale de 0,025 mm pour l'alignement de la clé CHAIR 3, toutes nos moyennes d'alignement sont inférieures à 0,02 mm (Tableaux 2 et 3). Cela confirme donc un repositionnement réalisé le plus précisément possible.

## **VI.2. Reproductibilité de la technique du mock-up**

Si l'on observe l'ensemble des 20 mock-ups comparés au modèle de référence, la moyenne des écarts positifs et négatifs est de  $+81,80 \pm 25,63 \mu\text{m}$  et  $-117,57 \pm 51,29\mu\text{m}$  (Tableau 4). Cela signifie qu'en moyenne, sur les 20 répétitions, le mock-up mis en place est en surépaisseur de  $+81,80 \mu\text{m}$  et en sous-épaisseur de  $-117,57 \mu\text{m}$ .

Ces résultats doivent être relativisés car l'observation des mock-ups montre parfois des imperfections de la résine, comme la présence de bulles sur le bord incisif qui pourrait expliquer les écarts inférieurs plus importants (Figure 27). Il est toutefois impossible de quantifier l'influence précise de ces imperfections sur les résultats de comparaisons, si ce n'est qu'elles les majorent, dans le sens positif comme négatif.



*Figure 27 : Présence d'une bulle dans l'angle mésial de la 21, imperfection de la résine majorant les écarts négatifs de comparaison*

De plus, il convient de considérer ces résultats dans le contexte clinique. La méthode de préparation à travers le mock-up est aujourd'hui précisément décrite et rend la taille homothétique par rapport au projet. Elle est réalisée par des fraises à butée d'enfoncement (868B.314.020, Komet®), dont la profondeur de pénétration est contrôlée à 0,4 mm. En pratique, l'épaisseur d'une facette en céramique varie entre 0,4 mm à 0,7 mm (9). Une profondeur de préparation en excès par rapport au mock-up implique une taille qui se fait dès lors aux dépens de l'émail, et l'on sait que la présence majoritaire du substrat amélaire dans la réalisation de facettes en céramique collée est garante de fiabilité (38). À l'inverse, une profondeur de préparation trop faible pose des problèmes de reproductibilité du projet par rapport aux restaurations finales, mais également des problèmes esthétiques. Si la couleur du substrat dentaire à mock-up est sombre, l'épaisseur de la céramique peut être insuffisante (37).

Une valeur de déviation de +/-100 µm impacte l'épaisseur du mock-up. Or, pour une facette de 0,4 mm par exemple, cela signifie que la profondeur de préparation

finale de la facette, par rapport à celle initialement prévue par le marquage à travers le projet, peut varier de 0,5 mm à 0,3 mm, selon que le mock-up soit respectivement en sous-épaisseur ou en surépaisseur de 100µm. Les épaisseurs moyennes d'émail varient de 0,3 mm à 0,5 mm dans les zones cervicales où la présence d'émail est la plus faible, avec une variabilité propre à chaque dent et chaque situation clinique (37)(41). Dans ce contexte, une moyenne des écarts négatifs de -117,57µm, reste acceptable d'un point de vue clinique et confirme que la technique est reproductible.

### **VI.3. Influence de la technique de fabrication de la clé**

Le second objectif de cette étude consistait à distinguer si la technique de fabrication de la clé en silicone influençait la reproductibilité du mock-up. Concernant la moyenne des écarts positifs, la clé LAB montre une tendance à mieux respecter l'épaisseur du projet (Figure 26). L'analyse statistique ne montre cependant pas de différence significative entre les deux clés (Tableau 9).

En revanche l'observation des moyennes des écarts négatifs permet de différencier les deux clés sur leur précision de reproductibilité. En effet, la clé en silicone de laboratoire engendre une épaisseur de résine significativement plus fine par rapport au projet ( $p < 0,01$ ) que lorsqu'une clé en silicone par addition, coffrée dans un porte-empreinte métallique est utilisée (Tableau 10). On note également cette tendance à la simple observation visuelle des figures de comparaisons antérieures extraites du logiciel (Annexe 1, Annexe 2). Cette différence peut s'expliquer par une rigidité du porte-empreinte métallique supérieure à celle du silicone par condensation. Ainsi, la compression digitale appliquée par l'opérateur sur la clé LAB au moment de la mise en place du mock-up est moins bien répartie sur le contour et peut entraîner une surpression sur la résine.

Prenant en compte ces résultats, la technique la plus fiable serait peut-être de combiner les deux techniques de fabrication, à savoir, une clé en silicone de laboratoire, coffrée dans un porte-empreinte métallique. De cette façon, les avantages des deux clés se cumuleraient, et les écarts positifs et négatifs seraient minimisés.

## Conclusion

Dans le domaine de l'Odontologie, les avancées cliniques et scientifiques des 20 dernières années ont permis l'émergence de techniques minimalement invasives. Ces dernières, aujourd'hui largement répandues et intégrées dans les pratiques quotidiennes des cabinets dentaires, ont pour objectif d'économiser autant que possible les tissus dentaires sains.

Le mock-up (ou masque en français) répond pleinement à ces impératifs et participe à une approche *a minima*, de l'élaboration du projet à la réalisation clinique des préparations. Ses avantages dans l'amélioration de la communication entre le trio patient-praticien-prothésiste sont également notables. Sa conception, possible à différents moments et par différents moyens, doit être réalisée suite à l'analyse esthétique initiale. Si les outils numériques permettent aujourd'hui de concevoir le mock-up via un workflow numérique, sa validation doit impérativement passer par un essayage clinique fonctionnel. En ce sens, l'option numérique, virtuelle, doit être considérée comme un outil supplémentaire, efficace et fiable dans certaines étapes du plan de traitement, mais sans pouvoir prétendre égaler la fidélité du mock-up clinique.

La mise en œuvre clinique permettant de transférer le projet esthétique (wax-up) en bouche (mock-up) via une clé en silicone, bien que parfaitement codifiée, reste fortement opérateur-dépendante. De plus, aucune preuve scientifique de sa précision n'a été publiée à ce jour selon nos connaissances.

Cette absence de « preuves » nous a conduit à imaginer puis réaliser une étude clinique originale. Celle-ci s'est intéressée tout d'abord à la précision de reproductibilité de la technique elle-même, puis à l'influence de la méthode de fabrication de la clé sur la précision finale du mock-up. La mise en place répétée de 20 mock-ups, *via* une clé en silicone chargée en résine, et leur comparaison à une référence, nous ont permis de répondre à ces deux hypothèses : i/ le mock-up est une technique fiable et reproductible, ii/ la méthode de réalisation de la clé influence la précision de reproduction du mock-up.

Concernant la première hypothèse, nos résultats sont rassurants quant à la fiabilité de la technique en elle-même, car ils révèlent une déviation positive maximale de 0,08 millimètres, et une déviation négative maximale de 0,12 millimètres ; toutes méthodes confondues.

Pour la seconde hypothèse de recherche, l'analyse statistique des deux groupes de clés (LAB key et CHAIR key), a permis d'évaluer l'influence de la méthode de réalisation de la clé sur l'épaisseur du mock-up. Les moyennes des déviations positives, respectivement  $+72,22 \pm 10,41 \mu\text{m}$  et  $+82,3 \pm 16,78 \mu\text{m}$ , ne diffèrent pas significativement entre les deux groupes. En revanche, l'analyse des moyennes des déviations négatives montre une tendance statistiquement significative de la clé LAB à insérer le mock-up en sous-épaisseur par rapport à la clé CHAIR ( $-155,72 \pm 28,32 \mu\text{m}$  et  $-70,47 \pm 28,38 \mu\text{m}$ ). Ainsi, notre seconde hypothèse est vérifiée : il existe bien une différence de reproductibilité entre les deux méthodes de réalisation de la clé.

En conclusion, dans la réalisation de facettes antérieures, la technique du mock-up a parfaitement sa place au sein de l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste moderne. Elle permet une approche reproductible, conservatrice et propice à la conservation de l'émail grâce aux techniques de préparation à travers le mock-up.

## SIGNATURE DES CONCLUSIONS

Thèse en vue du Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Nom - prénom de l'impétrant : NGUYEN Thomas

Titre de la thèse : LE MOCK-UP : ÉVALUATION CLINIQUE DE LA PRÉCISION DE  
REPRODUCTIBILITÉ

Directeur de thèse : Docteur Olivier ETIENNE

VU

Strasbourg, le : 22-07-20

Le Président du Jury,

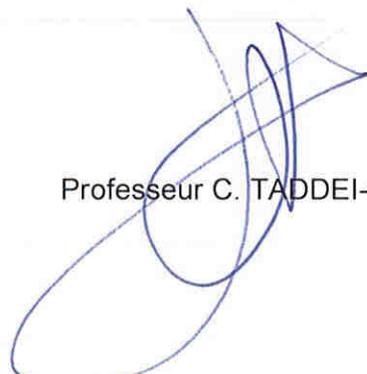


Professeur B. WALTER

VU

Strasbourg, le : 27 AOUT 2020

Le Doyen de la Faculté  
de Chirurgie Dentaire de Strasbourg,



Professeur C. TADDEI-GROSS

## Bibliographie

1. Organization WH. The preamble of the constitution of the World Health Organization. 1950.
2. Tirlet G, Attal JP. Le gradient thérapeutique un concept médical pour les traitements esthétiques. *Inf Dent*. 25 nov 2009;(41/42):2561-8.
3. Fradeani M, Barducci G, Corrado M. Réhabilitation esthétique en prothèse fixée. Volume 1, Analyse esthétique: une approche systématique du traitement prothétique. Paris, France, Allemagne, Pays multiples: Quintessence International; 2006. 352p.
4. Paris J-C, Faucher A-J. Le guide esthétique: comment réussir le sourire de vos patients. Paris, France: Quintessence International; 2003. 309 p.
5. Camaleonte G, Faucher A. Analyse esthétique de la face et du sourire : protocole photographique. 2019;30(3):175-80.
6. Camaleonte G. Intention photographique et dentisterie. *Clinic (Paris)*. juill 2019;(40):463-7.
7. Reshad M, Cascione D, Magne P. Diagnostic mock-ups as an objective tool for predictable outcomes with porcelain laminate veneers in esthetically demanding patients: A clinical report. *J Prosthet Dent*. mai 2008;99(5):333-9.
8. Etienne O, Anckenmann L et al. Restaurations esthétiques en céramique collée. Malakoff, France: Éditions CdP; 2016. 353 p.
9. Gürel G, Roulet J-F, Rufenacht CR, Chu SJ. Les facettes en céramique : de la théorie à la pratique. Paris, France, Allemagne: Quintessence International; 2016. 495 p.
10. Pontons-Melo JC, Atzeri G, Collares FM, Hirata R. Cosmetic recontouring for achieving anterior esthetics. *Int J Esthet Dent*. Summer 2019;14(2):134-46.
11. Cervino G, Fiorillo L, Arzukanyan AV, Spagnuolo G, Cicciù M. Dental Restorative Digital Workflow: Digital Smile Design from Aesthetic to Function. *Dent J*. 28 mars 2019;7(2).
12. Coachman C, Calamita M. Digital Smile Design: A Tool for Treatment Planning and Communication in Esthetic Dentistry. 2012;10.

13. Quentin G, Atlan A, Decup F. Projet esthétique virtuel : de l'analyse à la réalisation. *Clinic (Paris)*. :259-69.
14. Quarré L, Faudi J-M, Etienne O. Le projet esthétique 3D : la voie du futur. *Réal Clin*. 2019;30(3):227-35.
16. 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.
17. Quarré L. Acquisition optique tridimensionnelle du visage : méthode et intérêt dans le projet esthétique. Université de Strasbourg; 2019.
18. Noharet R. Communication digitale en odontologie : rigoureusement indispensable ! 2016;(173):14.
19. Etienne O, Watzki D. Le Photoshop smile design, outil de communication moderne. *Réal Clin*. 2019;30(3):216-24.
20. Garcia PP, da Costa RG, Calgaro M, Ritter AV, Correr GM, da Cunha LF, et al. Digital smile design and mock-up technique for esthetic treatment planning with porcelain laminate veneers. *J Conserv Dent JCD*. 2018;21(4):455-8.
21. Gurrea J. Wax-up and mock-up. A guide for anterior periodontal and restorative treatments. *Int J Esthet Dent*. :18.
22. Clément M. Outil de communication pluridisciplinaire pour un traitement esthétique prédictible : le Digital Smile design (DSD®) [Internet]. LEFILDENTAIRE magazine dentaire. 2016 [cité 18 nov 2019]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/pratique/step-by-step/outil-de-communication-pluridisciplinaire-pour-un-traitement-esthetique-predictible/>
23. Zimmermann M, Mehl A. Virtual smile design systems: a current review. *Int J Comput Dent*. 2015;18(4):303-17.
24. March PD. Projet esthétique numérique [Internet]. L'Information Dentaire. 2019 [cité 13 janv 2020]. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/actualites/projet-esthetique-numerique/>
25. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*. mai 2008;204(9):505-11.

26. Matériaux biocompatibles MED610 et MED620 [Internet]. Stratasys. [cité 15 janvier 2020] . Disponible sur : <https://www.stratasys.com/fr/materials/search/biocompatible>
27. Sancho-Puchades M, Fehmer V, Sailer I. Advanced smile diagnostics using CAD/CAM mock-ups. *Clin Res*. 2015;10(3):19.
28. Moussally C, Fron-Chabouis H. Intérêt du PMMA usiné pour la réalisation de mock-up. *BMC*. oct 2017;2(2):73-82.
29. Koubi S, Gurel G, Massihi R, Margossian P, Tassery H. Les full mock up dans le traitement de l'usure avancée. *AO News*. oct 2017;(13):11-5.
30. Clement M. Le projet esthétique en dentisterie adhésive. *Cah Prothèse*. mars 2016;(173):31-45.
31. Magne P, Belser UC. Novel Porcelain Laminate Preparation Approach Driven by a Diagnostic Mock-up. *J Esthet Restor Dent*. janv 2004;16(1):7-16.
32. Ortet S. Le diagnostic esthétique : clés de la réussite lors d'une réhabilitation du sourire. *Cah Prothèse*. 2013;(164):11.
33. Magne P, Magne M, Belser U. The diagnostic template: A key element to the comprehensive esthetic treatment concept. *Int J Periodontics Restor Dent*. 1996;(16):560-9.
34. Spear FM, Kokich VG, Mathews DP. Interdisciplinary management of anterior dental esthetics. *Int J Esthet Dent*. summer 2019;14(2):10.
35. Etienne O. Préparations pour céramiques collées : technique des masques et préservation tissulaire. *Réal Clin*. 2010;21(4):289-97.
36. Etienne O. Facettes en céramique et gingivectomies : une approche a minima. *Réal Clin*. 2013;24(4):299-307.
37. Étienne O. Les facettes en céramique. Malakoff, France: Editions CdP; 2019. 177p.
38. Castelnuovo J. Les facettes en céramique : critères de fiabilité. *Rev Odontostomatol (Paris)*. 2008;37:287-315.
39. Gürel G. Predictable, precise, and repeatable tooth preparation for porcelain laminate veneers. *Pract Proced Aesthetic Dent PPAD*. févr 2003;15(1):17-24; quiz 26.
40. Henninger E, Vasilakos G, Halazonetis D, Gkantidis N. The effect of

regular dental cast artifacts on the 3D superimposition of serial digital maxillary dental models. *Sci Rep.* 19 juill 2019;9.

41. Naveau A, Renault P, Pierrisnard L. Pulpe et prothèse fixée à ancrage périphérique. *Cah Prothèse.* 1 juin 2007;(138):55-64.

## Index des tableaux

Tableau 1 : Matériaux et matériels de l'étude .....	32
Tableau 2 : Résultat des moyennes après Best Fit Alignment en millimètres et en microns (Clé de cabinet).....	46
Tableau 3 : Résultat des moyennes après Best Fit Alignment en millimètres et en microns (Clé de laboratoire) .....	46
Tableau 4 : Moyennes des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètre pour les 20 clés .....	47
Tableau 5 : Moyenne des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètres et en microns (Clé de cabinet).....	48
Tableau 6 : Moyenne des écarts positifs et négatifs après comparaison 3D en millimètres (Clé LAB).....	49
Tableau 7 : Test de Levene appliqué aux moyennes des différences positives. La distribution des valeurs est homogène entre les deux groupes.....	51
Tableau 8 : Test de Levene appliqué aux moyennes des différences négatives. La distribution des valeurs est homogène entre les deux groupes.....	52
Tableau 9 : Rapport de l'ANOVA pour les écarts positifs .....	52
Tableau 10 : Rapport de l'ANOVA pour les écarts négatifs.....	53

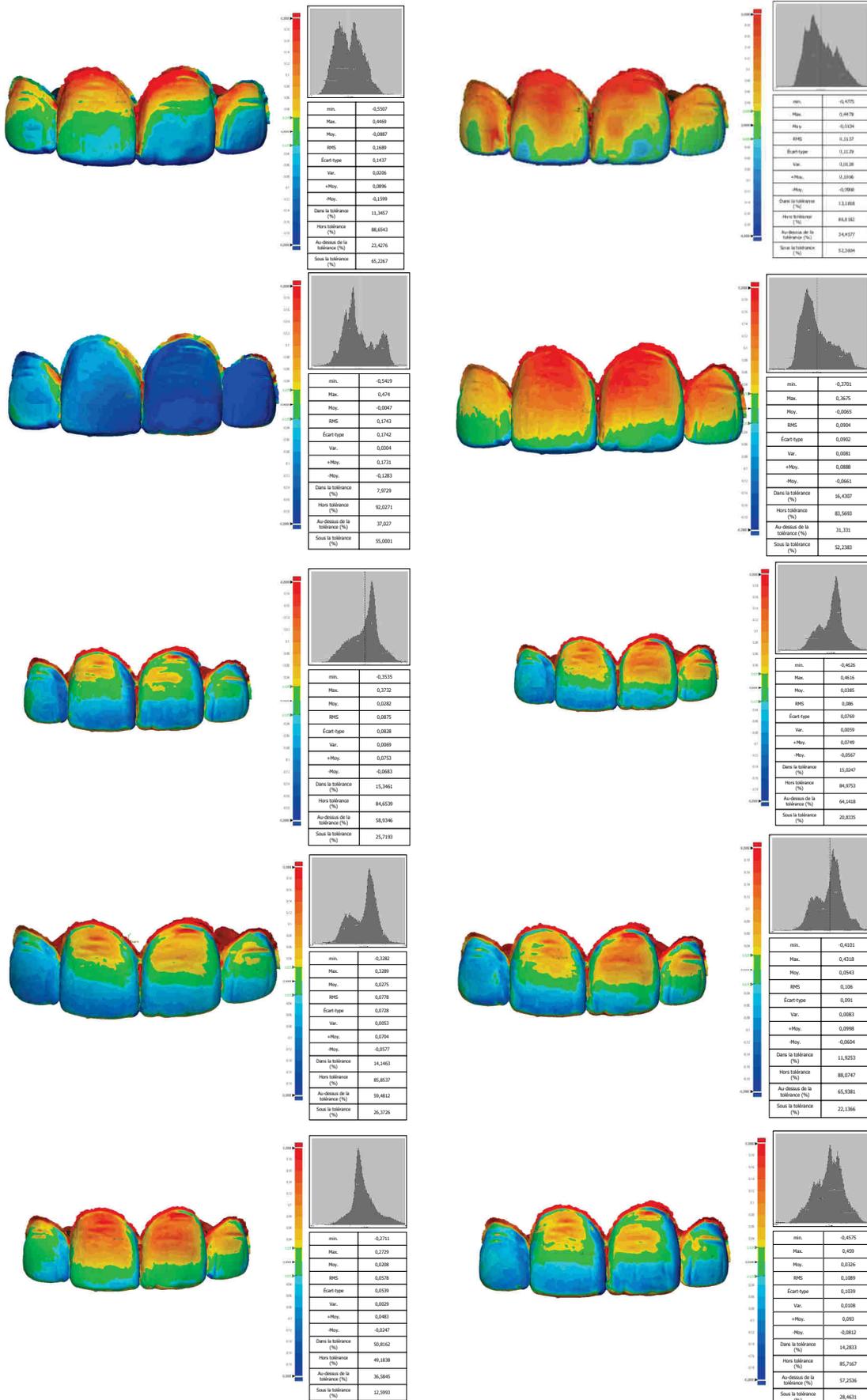
## Index des figures

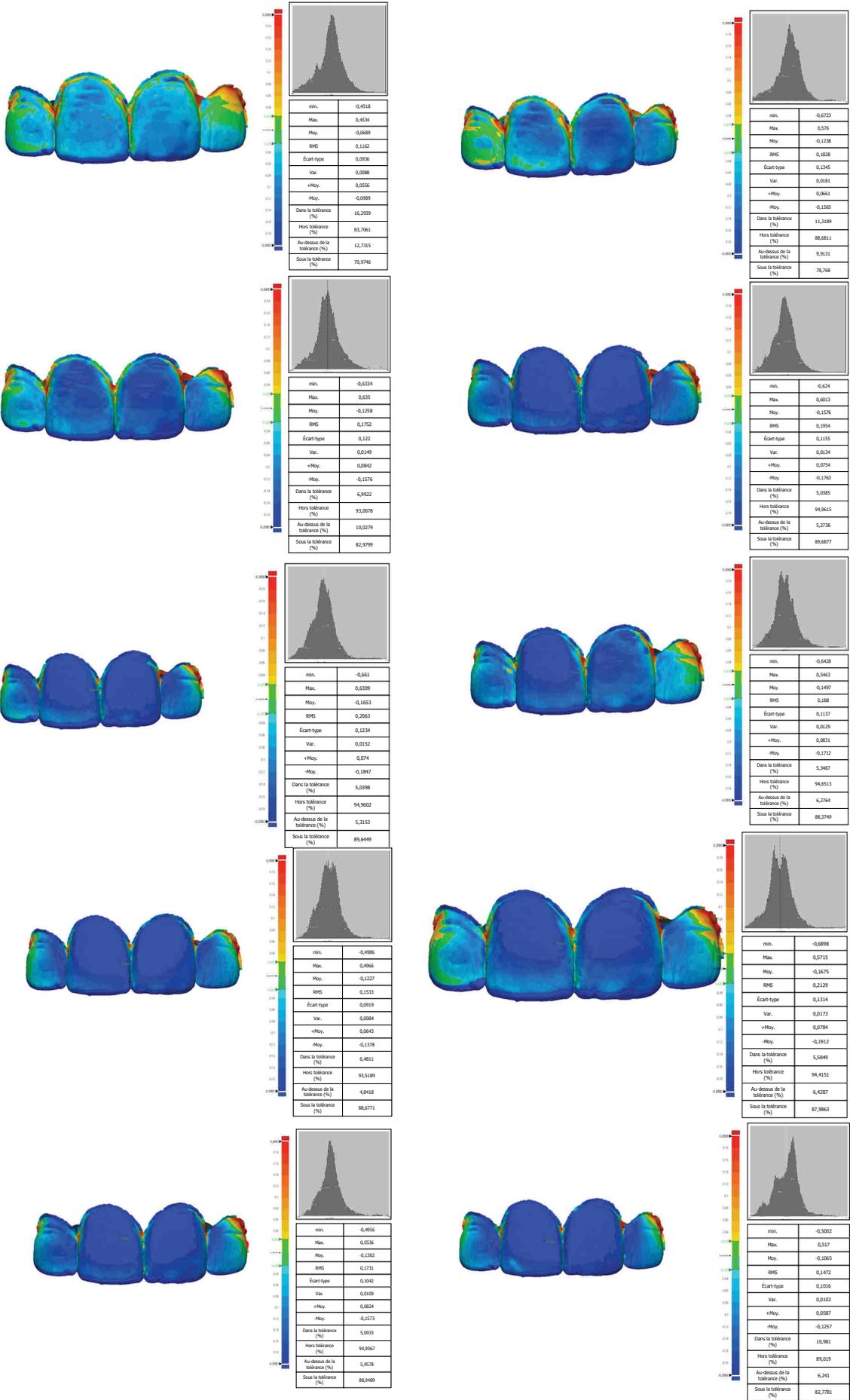
- Figure 1 : Réalisation d'un mock-up direct. Le temps nécessaire varie en fonction de l'habileté du praticien.....8
- Figure 2 : Avant - après d'un Photoshop Smile Design sur prises de vue intra-orale et extra-orale. Le rendu très réaliste permis par le logiciel aide le patient à se projeter. ....11
- Figure 3 : Illustration d'un « smile design » sur logiciel dédié : 3Shape Smile Design, 3Shape®. Ici, seules deux photos sont nécessaires, deux photos de face avec et sans écarteurs, en gardant la même angulation pour éviter les erreurs de parallaxe. La première étape consiste à placer les points de références (1), et associer les deux images entre elles (2). Il faut ensuite choisir parmi la banque de forme, un sourire idéal qui siée au patient (3). Celui-ci peut être modifié pour convenir au mieux (4, 5). Le résultat final intra-buccal (6), et surtout extra-buccal (7, 8), permet de présenter le projet au patient.....12
- Figure 4 d'après (8) : Pour se soustraire des problèmes de parallaxe, il convient de prendre plusieurs photos à angulations différentes (a). Lors du repositionnement des photos intra-orales et extra-orales, la personne en charge du « smile design » (chirurgien-dentiste ou prothésiste) peut choisir entre les différentes angulations pour trouver celle qui se rapproche au plus de la photo extra-buccale. Une erreur de repositionnement induit inéluctablement des erreurs de planification (b).....14
- Figure 5 : La première étape consiste en l'alignement du scan intra-oral avec la vue extra-orale (1). Puis, la forme et la taille des dents sont choisies (2), afin de commencer le wax-up (3). Une fois terminé, le rendu final sera proposé au patient (4). Le wax-up numérique permet de calculer précisément les épaisseurs, en tout sens (5 et 6). A l'issue du wax-up numérique, deux solutions existent : imprimer et usiner le masque en résine (7), ou imprimer un modèle du projet sur lequel sera réalisé classiquement une clé en silicone (8) .....16
- Figure 6 : Clé de transposition chairside : noter les découpes verticales postérieures afin d'éviter d'éventuelles zones de tirage ; et la découpe horizontale qui respecte 5 mm au-delà des collets afin de préserver une zone de contrôle à la bonne insertion.....21

<u>Figure 7</u> : Clé de transposition en silicone de laboratoire : l'épaisseur et la dureté initiale du silicone le rende suffisamment rigide pour se suffire à lui-même. Les découpes suivent les collets dans la zone du mock-up.....	22
<u>Figure 8</u> : Mock-up imprimé puis vérifié sur le modèle imprimé lui aussi et issu de l'empreinte optique intra-orale.....	23
<u>Figure 9</u> : Modélisation et usinage du mock-up en PMMA.....	24
<u>Figure 10</u> : Synthèse des différentes options cliniques aujourd'hui disponibles pour cheminer de la 1ère consultation à la validation clinique du projet, dans la réalisation d'un traitement esthétique. ....	28
<u>Figure 11</u> : Prises de vue extra-orales.....	34
<u>Figure 12</u> : Prises de vue intra-orales.....	34
<u>Figure 13</u> : Avant - après des modifications intra-orales en suivant les contours d'un mock-up de formes idéales.....	35
<u>Figure 14</u> : Projets esthétiques proposés au patient avec fermeture de diastème partielle (gauche) ou complète (droite).....	36
<u>Figure 15</u> : Photographies transmises au prothésiste afin de guider l'élaboration du wax-up.....	37
<u>Figure 16</u> : Une erreur de conception de la clé favorise une mauvaise insertion du mock-up. Ici, le light n'a pas fusé dans l'intégralité de la zone d'intérêt (1), ou son épaisseur est trop grande (2). ....	38
<u>Figure 17</u> : Clé de transposition en silicone de laboratoire (LAB key) finale.....	38
<u>Figure 18</u> : Clé de transposition en silicone par addition (CAB key) finale.....	39
<u>Figure 19</u> : prévisualisation de l'intégration du projet esthétique dans le sourire et le visage du patient.....	41
<u>Figure 20</u> : Zone postérieure segmentée (ici en vert) sur le modèle de référence....	42
<u>Figure 21</u> : Zone antérieure segmentée (ici en gris) sur le modèle de référence.....	43
<u>Figure 22</u> : L'alignement initial entre le modèle de référence et le scan du mock-up est réalisé automatiquement.....	43
<u>Figure 23</u> : L'alignement Best Fit est opéré en ne sélectionnant que la zone postérieure (représentée en vert).....	44
<u>Figure 24</u> : Exemple du rapport de comparaison généré pour un modèle donné (ici mock-up 9 clé Chairside) avec la référence.....	45

<u>Figure 25</u> : Boxplots des différences positives (bleu), négatives (rouge) et des deux réunies (vert), pour chaque type de clé.....	50
<u>Figure 26</u> : Toutes méthodes confondues (LAB et CHAIR keys) la médiane de dispersion des valeurs est proche de 0. Les valeurs maximales ne dépassent pas 100µm de différences positives mais dépassent cette valeur en.....	50
<u>Figure 27</u> : Présence d'une bulle dans l'angle mésial de la 21, imperfection de la résine majorant les écarts négatifs de comparaison.....	56

# Annexes





**Annexe 2 : Rapports de comparaisons du secteur antérieur pour les mock-ups issus de la clé « LAB »**

NGUYEN (Thomas) – Le mock-up : évaluation clinique de la précision de reproductibilité  
(Thèse : 3<sup>ème</sup> cycle Sci. odontol. : Strasbourg : 2020 ; N°37)

N°43.22.20.37

**Résumé** : Dans le domaine de l'Odontologie, les avancées cliniques et scientifiques des 20 dernières années ont permis l'émergence de techniques minimalement invasives.

Le mock-up (ou masque en français) répond pleinement à ces impératifs et participe à une approche *a minima*, de l'élaboration du projet à la réalisation clinique des préparations. Si les outils numériques permettent aujourd'hui de concevoir le mock-up via un workflow numérique, sa validation doit impérativement passer par un essayage clinique fonctionnel. La mise en œuvre clinique permettant de transférer le projet esthétique (wax-up) en bouche (mock-up) via une clé en silicone, bien que parfaitement codifiée, reste fortement opérateur-dépendante. De plus, aucune preuve scientifique de sa précision n'a été publiée à ce jour selon nos connaissances.

Cette absence de « preuves » nous a conduit à imaginer puis réaliser une étude clinique originale. Celle-ci s'est intéressée tout d'abord à la précision de reproductibilité de la technique elle-même, puis à l'influence de la méthode de fabrication de la clé sur la précision finale du mock-up. La mise en place répétée de 20 mock-ups, via une clé en silicone chargée en résine, et leur comparaison à une référence, nous ont permis de répondre à ces deux hypothèses : i/ le mock-up est une technique fiable et reproductible, ii/ la méthode de réalisation de la clé influence la précision de reproduction du mock-up.

Concernant la première hypothèse, nos résultats sont rassurants quant à la fiabilité de la technique en elle-même, car ils révèlent une déviation positive maximale de 0,08 millimètres, et une déviation négative maximale de 0,12 millimètres ; toutes méthodes confondues.

Pour la seconde hypothèse de recherche, l'analyse statistique des deux groupes de clés (LAB key et CHAIR key), a permis d'évaluer l'influence de la méthode de réalisation de la clé sur l'épaisseur du mock-up. Les moyennes des déviations positives, respectivement  $+72,22 \pm 10,41 \mu\text{m}$  et  $+82,3 \pm 16,78 \mu\text{m}$ , ne diffèrent pas significativement entre les deux groupes. En revanche, l'analyse des moyennes des déviations négatives montre une tendance statistiquement significative de la clé LAB à insérer le mock-up en sous-épaisseur par rapport à la clé CHAIR ( $-155,72 \pm 28,32 \mu\text{m}$  et  $-70,47 \pm 28,38 \mu\text{m}$ ). Ainsi, notre seconde hypothèse est vérifiée : il existe bien une différence de reproductibilité entre les deux méthodes de réalisation de la clé.

En conclusion, dans la réalisation de facettes antérieures, la technique du mock-up a parfaitement sa place au sein de l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste moderne. Elle permet une approche reproductible, conservatrice et propice à la conservation de l'émail grâce aux techniques de préparation à travers le mock-up.

**Rubrique de classement** : Odontologie

**Mots clés** : Mock-up, Masque, Reproductibilité, Etude clinique, 3D

**Me SH** : Mock-up, Reproducibility, Clinical study, 3D Meshes

**Jury** :

Président : Professeur WALTER Béatrice

Assesseurs : Professeur MINOUX Maryline  
Docteur ETIENNE Olivier  
Docteur ANCKENMANN Laure

Membre invité : Docteur PILAVYAN Elise

**Coordonnées de l'auteur** :

Adresse postale :

T Nguyen

1 rue de Montréal

67820 Wittisheim

Adresse de messagerie :

tnguyen@orange.fr