

UNIVERSITE DE LILLE
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

Année de soutenance : 2024

N°:

THESE POUR LE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement le 16 OCTOBRE 2024

Par Théodore OWCZARSKI

COMPARAISON DE LA PRECISION DES RESTAURATIONS DENTAIRES
PAR COMPOSITE INJECTE EFFECTUEES PAR GOUTTIERES EN SILICONE
MOULE *VERSUS* GOUTTIERES CFAO : UNE ETUDE PILOTE.

JURY

Président : **Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

Assesseurs **Monsieur le Professeur Lieven ROBBERECHT**

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Nathan DELEMOTTE



Président de l'Université :	Pr. R. BORDET
Directrice Générale des Services de l'Université :	A.V. CHIRIS FABRE
Doyen UFR3S :	Pr. D. LACROIX
Directrice des Services d'Appui UFR3S :	
Vice doyen département facultaire UFR3S-Odontologie :	Pr. C. DELFOSSE
Responsable des Services :	L. KORAÏCHI
Responsable de la Scolarité :	V MAURIAUCOURT

PERSONNEL ENSEIGNANT DE LA FACULTE

PROFESSEUR DES UNIVERSITES EMERITE

E DEVEAUX Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

K. AGOSSA	Parodontologie
P. BOITELLE	Responsable du département de Prothèse
T. COLARD	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
C. DELFOSSE	Vice doyen du département facultaire UFR3S-Odontologie Odontologie Pédiatrique Responsable du département d'Orthopédie dento-faciale
L ROBBERECHT	Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

T. BECAVIN	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
A. BLAIZOT	Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale
F. BOSCHIN	Parodontologie
C. CATTEAU	Responsable du Département de Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie Légale.
X. COUTEL	Biologie Orale
A. de BROUCKER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. DEHURTEVENT	Prothèses
C. DENIS	Prothèses
F. DESCAMP	Prothèses
M. DUBAR	Responsable du Département de Parodontologie
A. GAMBIEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
F. GRAUX	Prothèses
M. LINEZ	Dentisterie Restauratrice Endodontie
T. MARQUILLIER	Odontologie Pédiatrique
G. MAYER	Prothèses
L. NAWROCKI	Responsable du Département de Chirurgie Orale Chef du Service d'Odontologie A. Caumartin - CHU Lille
C. OLEJNIK	Responsable du Département de Biologie Orale
H. PERSOON	Dentisterie Restauratrice Endodontie (maître de conférences des Universités associé)
P. ROCHER	Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
M. SAVIGNAT	Responsable du Département de Fonction-Dysfonction, Imagerie, Biomatériaux
T. TRENTESAUX	Responsable du Département d'Odontologie Pédiatrique
J. VANDOMME	Prothèses
R. WAKAM KOUAM	Prothèses

PRATICIEN HOSPITALIER et UNIVERSITAIRE

M. Bedez	Biologie Orale
----------	----------------

Réglementation de présentation du mémoire de Thèse :

Par délibération en date du 29 octobre 1998, le Conseil de la Faculté de Chirurgie Dentaire de l'Université de Lille a décidé que les opinions émises dans le contenu et les dédicaces des mémoires soutenus devant jury doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'ainsi aucune approbation, ni improbation ne leur est donnée.

Aux membres du jury,

Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Section de Réhabilitation Orale
Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en chirurgie dentaire
Docteur en sciences odontologiques
Docteur en odontologie de l'Université de Lille 2
Habilité à diriger des recherches
Doyen honoraire de la faculté de chirurgie dentaire de Lille
Ancien membre associé national de l'Académie nationale de chirurgie dentaire
Ancien président de la Société française d'endodontie
Chevalier dans l'Ordre des palmes académiques.
Responsable du Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie
Chargé de mission Relations Institutionnelles avec le CHU

*Vous me faites l'honneur d'avoir accepté de présider ce jury, et je vous en suis
très reconnaissant.*

*Je vous remercie également pour l'enseignement que vous m'avez apporté
durant mes années d'études.*

*Veuillez trouver, à travers ce travail, l'expression de ma haute considération et
de mon profond respect.*

Monsieur le Professeur Lieven ROBBERECHT
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Section de Réhabilitation Orale
Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire
Docteur de l'Université de Lille
Habilité à diriger des recherches

*Je tiens à vous exprimer toute ma gratitude pour avoir dirigé cette thèse ainsi
que les autres projets auxquels j'ai eu la chance de participer sous votre
supervision.*

*J'ai énormément appris à vos côtés, tant au cours de mon parcours
universitaire que lors de nos échanges.*

*Je vous suis reconnaissant pour votre bienveillance, ainsi que pour votre
disponibilité, votre patience, et votre soutien, qui ont joué un rôle crucial dans la
concrétisation de mes projets, qu'ils soient actuels ou à venir.*

*Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma gratitude et mon plus grand
respect à votre égard.*

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier

Section de Réhabilitation Orale

Département Prothèses

Docteur en Chirurgie Dentaire

Master II « Sciences du médicaments » - Parcours « Dispositifs

Médicaux – Biomatériaux » - Université Lille2

C.E.S Prothèses Fixées – Université d'Aix-Marseille

Je tiens à vous remercier d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse.

Votre soutien, vos conseils précieux, et votre disponibilité tout au long de ce projet ont été essentiels à son aboutissement. Je suis également reconnaissant pour les enseignements, théoriques et pratiques, que vous m'avez transmis tout au long de mon parcours.

Monsieur le Docteur Nathan DELEMOTTE

Chef de Clinique des Universités – Assistant Hospitalier des CSERD

Section de Réhabilitation Orale

Département de Dentisterie Restauratrice Endodontie

Docteur en Chirurgie Dentaire

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de rejoindre mon jury de thèse.

*Je me réjouis à l'idée de bientôt collaborer avec vous en tant que collègue,
après cette année de monitorat particulièrement enrichissant.*

Tables des matières

Table des abréviations	13
1. Introduction	14
2. État de l'art	15
2.1.2.2. Analyse de la couleur.....	19
2.1.2.3. Analyse fonctionnelle dans le secteur antérieur	20
2.1.2.4. Planification esthétique au travers du Digital smile design	20
2.1.3. Restauration dans le secteur antérieur	22
2.2. Restauration par composite injecté	25
2.2.1. Indications	25
2.2.2. Matériaux	26
2.2.2.1. Résine composite fluide.....	26
2.2.2.2. Silicone transparent.....	28
2.2.3. Protocole opératoire	30
2.2.3.1. Wax-up	30
2.2.3.2. Gouttière d'injection	31
2.2.3.3. Mise en place du champ opératoire	32
2.2.3.4. Protocole de collage	32
2.2.3.5. Mise en place du composite injectable	33
2.2.3.6. Étapes de finition et polissage	33
2.2.3.7. Phase de maintenance.....	34
2.2.4. Avantages et inconvénients	34
2.2.5. Apport de l'impression 3D pour la gouttière transparente	35
2.3. Problématique et objectif	36
3. Matériel et méthodes	36
3.1. Conception et fabrication des modèles expérimentaux.....	36
3.2. Conception et fabrication des gouttières d'injection	38
3.3. Collage et évaluation des restaurations composites	41
3.3.1. Collage des composites	41
3.3.2. Évaluation de la morphologie des composites	43
4. Résultats et discussions	44
4.1. Reproductibilité des modèles.....	44
4.2. Fabrication des gouttières.....	45
4.3. Précision des composites	45
5. Conclusion et perspectives.....	47
Tables des figures	48
Tables des tableaux	50
Tables des équations.....	50
Bibliographies.....	51

Table des abréviations

CFAO : conception et fabrication assistée par ordinateur

PES : Pink Esthetic Score

WES : White Esthetic Score

1. Introduction

Les pertes de substance dans le secteur antérieur peuvent avoir différentes étiologies, telles que les lésions carieuses, les traumatismes, la maladie parodontale, les dysharmonies de forme ou de couleur, les pertes de substance non carieuses, les diastèmes et les défauts d'alignement. Elles entraînent des préjudices esthétiques.

La restauration dans le secteur antérieur nécessite préalablement une analyse esthétique et fonctionnelle ainsi qu'une planification d'un projet esthétique. Ces restaurations peuvent être directes (stratification), indirectes (restaurations indirectes adhésives telles que facettes, couronnes périphériques), ou semi-indirectes (technique du composite injecté).

La technique du composite injecté est un procédé de restauration temporaire non invasif qui traduit un wax-up en restauration composite par l'utilisation d'une gouttière d'injection coulée en silicone transparent. L'intégration du flux numérique en chirurgie dentaire a permis l'essor de la CFAO. Le « wax-up », historiquement réalisé en cire sur un modèle en plâtre, est progressivement remplacé par une modélisation numérique réalisée par un logiciel dédié, utilisant comme support une empreinte optique. Cette technologie peut désormais être utilisée pour la réalisation des gouttières d'injection mais aucune donnée concernant cette application n'est disponible dans la littérature. Celle-ci permettrait d'intégrer l'ensemble des étapes de réalisation du composite injecté dans le flux numérique, d'éliminer l'étape du « wax-up » physique et d'obtenir un meilleur contrôle de l'épaisseur et une meilleure reproductibilité de la gouttière.

Il est donc nécessaire d'investiguer la précision des composites fabriqués par cette nouvelle méthode de fabrication de gouttière d'injection par CFAO, et de la comparer avec la méthode conventionnelle de coulage d'une gouttière en silicone sur un modèle de wax-up physique. L'objectif de cette thèse est d'effectuer une étude pilote pour évaluer la faisabilité d'une étude comparative sur la précision des composites injectés réalisés avec les différentes gouttières d'injection.

2. État de l'art

2.1. Perte de substance et restauration dans le secteur antérieur

2.1.1. Causes de perte de substance

L'objectif de la dentisterie restauratrice dans le secteur antérieur est la réhabilitation biologique, fonctionnelle et esthétique des structures dentaires. Lésions carieuses, traumatismes, maladies parodontales, dysharmonies de forme et/ou de couleur, perte de substance non carieuse, diastèmes résiduels après traitement orthodontique, sont des étiologies possibles de perte de substance et de dysharmonies esthétiques [19].

Les lésions carieuses se caractérisent selon la classification ICDAS (International Caries Detection and Assessment System) qui est une classification clinique. Cette classification comporte un code allant de 0 à 6 : 0 étant une face saine, 1 et 2 stade initial, 3 et 4 stade modéré, 5 et 6 un stade avancé de la lésion carieuse (fig. 1) [13,19,25].

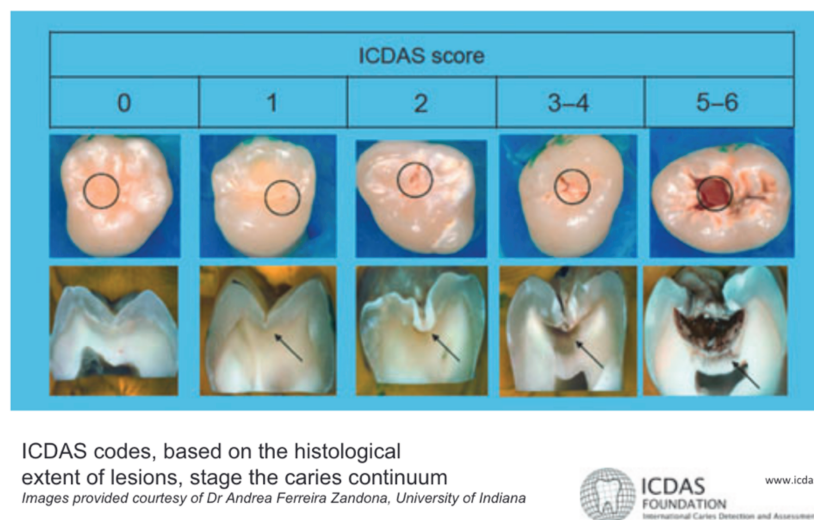


Figure 1 : Classification ICDAS [25]

Les traumatismes dentaires se classent selon l'atteinte coronaire et/ou radiculaire et selon l'exposition ou non de la pulpe, décrits par la classification d'Andreassen (fig.2). Ainsi, nous distinguons : l'infraction et la fracture de l'émail, la fracture amélo-dentinaire simple (sans exposition pulpaire) ou complexe (avec

exposition pulpaire), la fracture corono-radicaire simple ou complexe ainsi que la fracture de la radicaire¹ [3,23].

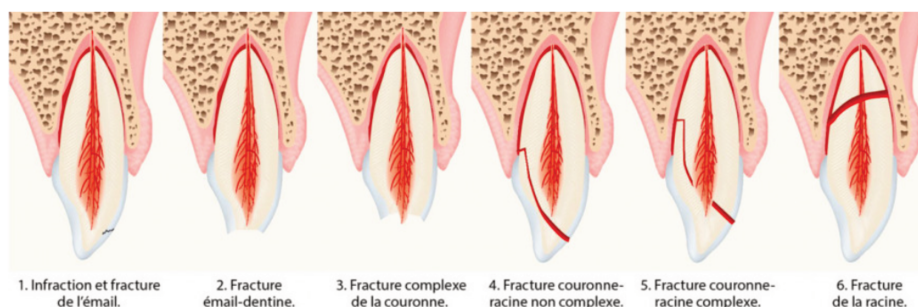


Figure 2 : Traumatismes dentaires selon la classification d'Andreassen [23]

La maladie parodontale peut engendrer des migrations dentaires pathologiques, provoquant des défauts esthétiques avec l'apparition de diastèmes secondaires, qui surviennent lorsque l'équilibre entre les forces qui maintiennent la position physiologique et les forces qui tendent à la déplacer est rompu [18].

Les dysharmonies de forme ou de couleur comprennent : les amélogénèses imparfaites [26], hypoplasies [17] et hypo-minéralisations amélares [1], les dysplasies dentinaires et dentinogénèse imparfaite [20], les fluoroses [40], les anomalies chromatiques [15], les anomalies de morphologie (exemple : dent riziforme [10], dent double [31], dens evaginatus [30].

Les pertes de substance non carieuses regroupent : l'abrasion, l'attrition, et l'érosion dentaire. L'abrasion est une perte de substance par frottement des surfaces dentaires avec un corps étranger. L'attrition correspond au contact dento-dentaire entre dents proximales ou antagonistes. L'érosion est un processus physico-chimique ou chimique dû à des acides endogènes ou exogènes, qui se traduit par une dissolution chimique de la dent [16].

Les diastèmes et les défauts d'alignement résiduels après traitement orthodontique ou non peuvent générer des désagréments esthétiques qui sont susceptibles d'être résolus par des techniques minimalement invasives [11].

¹ World Health Organization. International statistical classification of diseases and related health problems, 11th revision (ICD-11) for mortality and morbidity statistics. In.

2.1.2. Analyse esthétique et fonctionnelle

La planification d'un projet esthétique basé sur une analyse esthétique et fonctionnelle est nécessaire avant d'entreprendre la restauration de dents antérieures [29].

2.1.2.1. Analyse morphologique

En 2005, Fürhauser et coll. ont établi un index pour l'évaluation des tissus mous autour d'une couronne implanto-portée : le Pink Esthetic Score (PES)[8].

En 2009 Belser et coll. reprennent le travail de Fürhauser et ajoutent au PES le White Esthetic Score (WES) pour évaluer en plus des tissus mous, les caractéristiques esthétiques de la dent (fig.3) [4].

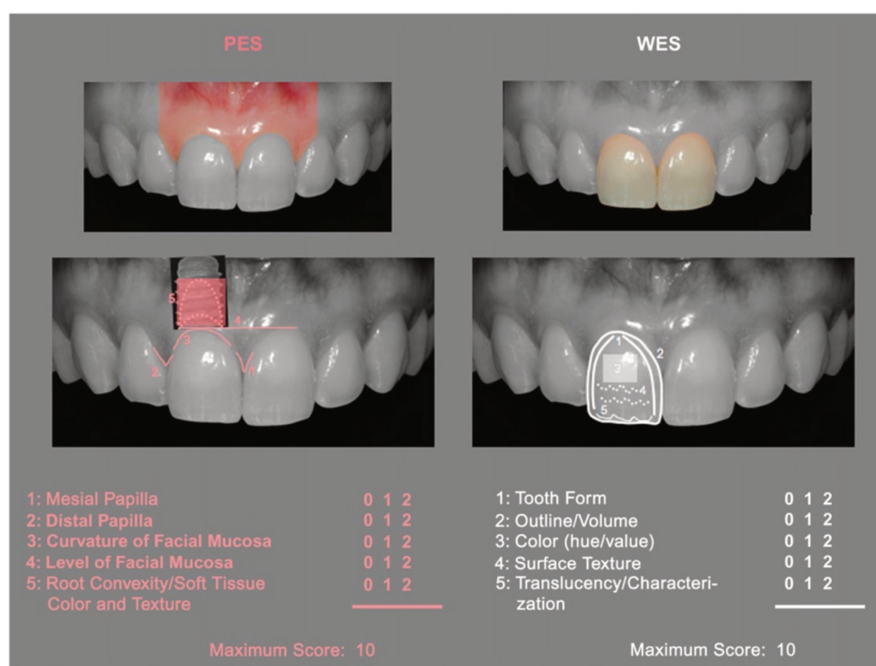


Figure 3 : WES et PES critères, Belser et coll. [4]

Depuis, une étude réalisée par Lanza et coll. en 2017 a montré la validité de ces critères pour la réhabilitation sur les dents naturelles en zone antérieure [21].

Ainsi, les critères pris en compte dans le PES sont : la présence de la papille mésiale, la présence de la papille distale, l'alignement des collets, le contour gingival, la convexité alvéolaire, la couleur gingivale et la texture. Les critères pris en compte dans le WES sont : le volume coronaire, la forme, la couleur, l'état de surface et la translucidité.

Ces scores sont respectivement notés sur 10 points. Chaque caractéristique se voit attribuer une note de 0 (divergence majeure), 1 (divergence mineure) ou 2 (pas de divergence). On obtient ainsi une note maximale de 20.

De plus Magne et Besler ont défini en 2022 des critères esthétiques fondamentaux objectifs [22], qui reprennent les critères de Belser [43] modifiés (fig. 4).

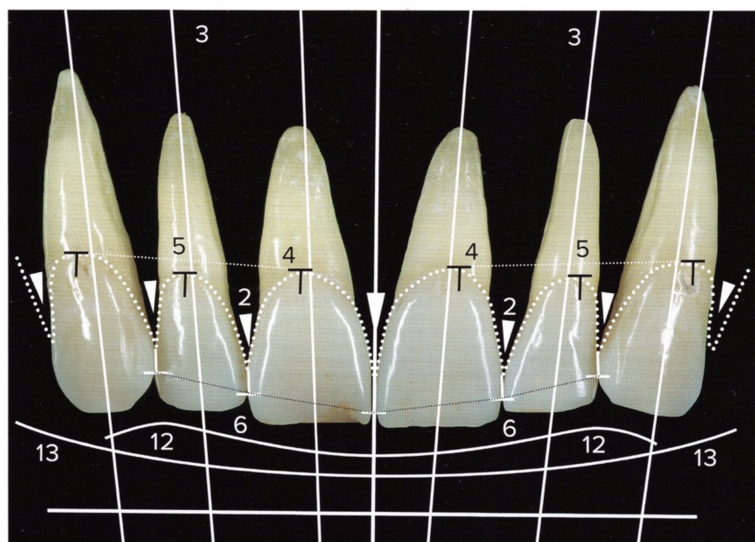


Figure 4 : Critères fondamentaux objectifs de Magne et Besler [22]

- | | |
|--|--|
| 1. Santé gingivale | 2. Éléments de base de la forme dentaire |
| 3. Fermeture des embrasures gingivales | 4. Caractérisation de la dent |
| 5. Axes dentaires | 6. État de la surface |
| 7. Zénith du contour gingival | 8. Couleur |
| 9. Équilibre des festons gingivaux | 10. Configuration des bords incisifs |
| 11. Niveau du contact interdentaire | 12. Ligne de la lèvre inférieure |
| 13. Dimensions relatives des dents | 14. Alignement du sourire |

2.1.2.2. Analyse de la couleur

Il existe trois paramètres fondamentaux de la décomposition des couleurs qui sont essentiels dans l'enregistrement et l'évaluation de l'esthétique en chirurgie dentaire. Ils servent de base pour atteindre une correspondance de couleur précise entre le matériau de restauration et la dent. Ces paramètres sont :

- la luminosité : déterminée par la quantité de lumière qu'une couleur reflète ou la quantité de blanc qu'elle contient,
- la saturation : fait référence à l'intensité d'une couleur, définie par la quantité de pigments qu'elle contient,
- la teinte : connue aussi sous le nom de tonalité chromatique ou chromaticité. Elle désigne les différentes sensations colorées perceptibles. Elle est définie par la longueur d'onde dominante que la dent reflète.

De plus Vanini propose des paramètres complémentaires qui s'ajoutent aux trois paramètres fondamentaux, donnant ainsi les cinq dimensions de la couleur en chirurgie dentaire (fig. 5) [39] : la base chromatique (teinte-saturation), la luminosité (value), l'intensité (représentant les zones hypo-minéralisées), l'opalescence et les caractérisations.

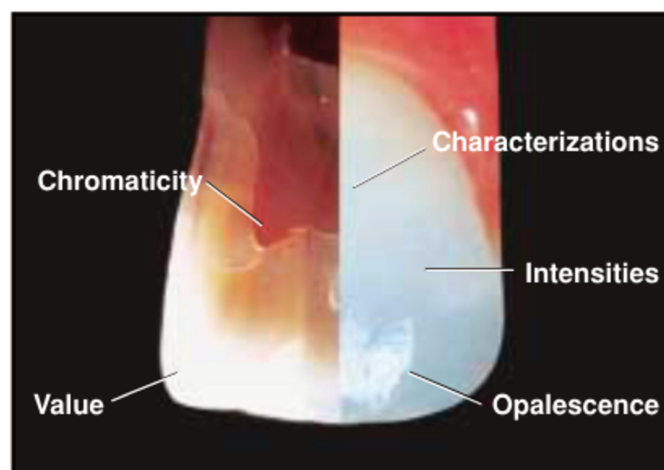


Figure 5 : Les cinq dimensions de la couleur en dentisterie selon la technique de Vanini [39]

2.1.2.3. Analyse fonctionnelle dans le secteur antérieur

Les dents antérieures jouent un rôle primordial sur les rapports statiques ainsi que sur les rapports dynamiques de la mandibule, lors de la propulsion et de la rétropulsion. Les canines participent spécifiquement au guidage de la mandibule lors des mouvements de diductions [7] .

Les rapports statiques des dents antérieures concernent l'occlusion d'intercuspidie maximale, c'est « une position de référence de la mandibule dans laquelle les dents des deux arcades entretiennent un maximum de points de contact ». Nous avons ainsi un recouvrement et un surplomb des incisives mandibulaires par les incisives maxillaires. Dans cette position, le bord libre des incisives mandibulaires et le tiers apical de la face palatine des incisives maxillaires sont en contact [7].

Les rapports dynamiques concernent les faces linguales des incisives et des canines maxillaires qui forment un guide incisif essentiel pour le mouvement des incisives et canines mandibulaires. Celles-ci glissent les unes contre les autres, guidant ainsi la trajectoire antérieure de la mandibule en propulsion et rétropulsion. L'ensemble formé par le surplomb et le recouvrement des incisives forme la pente incisive qui, avec la pente condylienne, détermine la désocclusion des dents postérieures pendant la propulsion de la mandibule [7].

Le guidage antérieur doit être enregistré lors des restaurations dans le secteur antérieur.

2.1.2.4. Planification esthétique au travers du Digital smile design

Une fois les analyses esthétiques et fonctionnelles réalisées, les données recueillies permettent la planification esthétique qui est réalisée avec un logiciel dédié.

Pour exemple, des logiciels de « digital smile design » permet l'établissement du projet esthétique, la prévisualisation du résultat esthétique ainsi qu'une communication aisée avec le patient, tant sur les objectifs que sur le rendu final des restaurations futures [6,24].

Les principaux logiciels sont : Photoshop CS6, Keynote, Aesthetic Digital Smile Design (ADSD), Cerec SW 4.2, DSD App by Coachman, Smile Designer Pro (SDP), VisagiSmile, Planmeca Romexis, Smile Design (PRSD) [24].

Pour exemple, l'application DSD est un outil numérique qui permet la planification esthétique (fig. 6, A et B) [6].

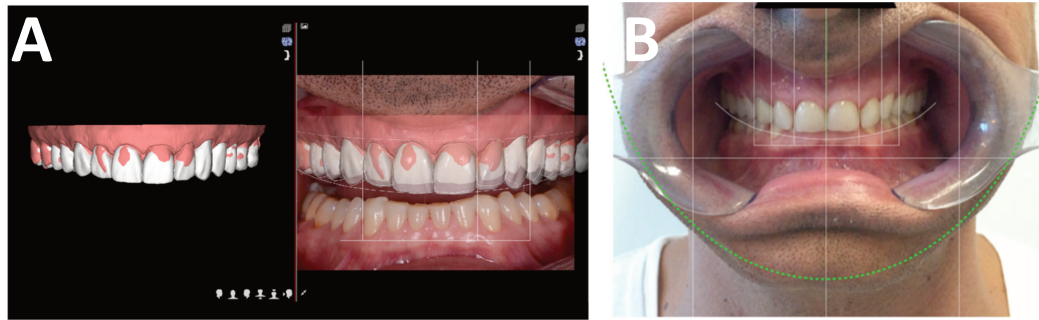


Figure 6 : A : Protocole DSD, photo du sourire avec les écarteurs [24] ; B : DSD, Planification [24].

Un des objectifs de la planification esthétique est la réalisation des wax-up après l'enregistrement des empreintes (numériques ou physiques). Cela permet par la suite la mise en place d'un mock-up en bouche pour la validation du projet esthétique.

2.1.3. Restauration dans le secteur antérieur

Le concept médical de gradient thérapeutique met la préservation tissulaire au cœur des préoccupations de la dentisterie moderne. Il présente les différentes options thérapeutiques, de l'approche la moins invasive à la plus invasive (fig. 7) [45]. Concernant la reconstitution des dents antérieures délabrées, la stratification de composite, les facettes et les couronnes périphériques constituent les traitements de référence.

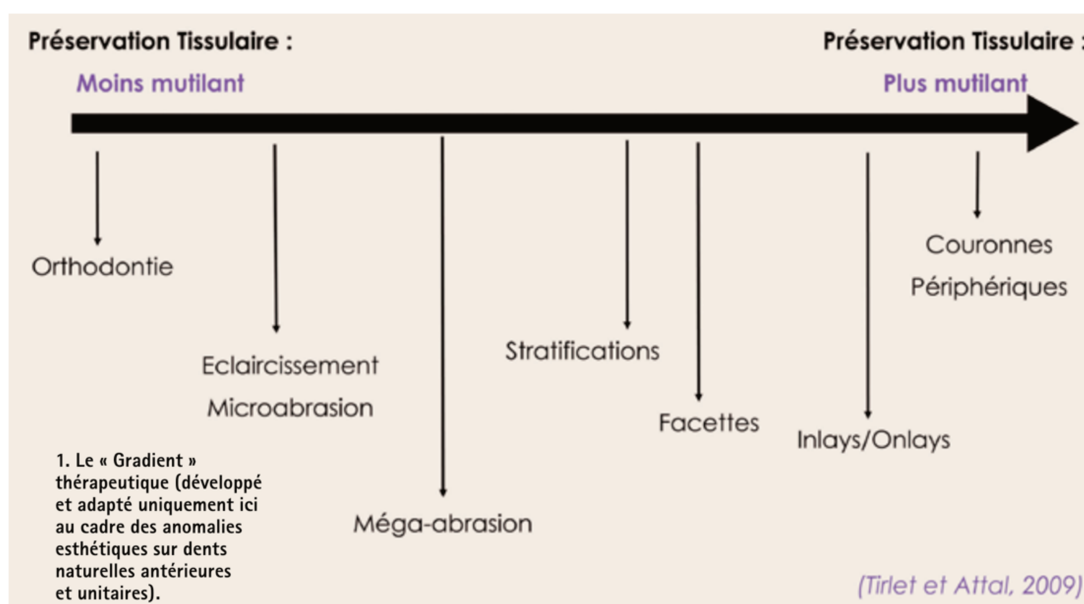


Figure 7 : Le gradient thérapeutique selon G. Tirlet et JP. Attal [44]

La restauration par stratification de composite consiste en la reconstruction de la dent à l'aide de plusieurs couches de composite se rapprochant des propriétés optiques de l'émail et de la dentine. Cette technique permet d'obtenir un résultat esthétique grâce à des couches d'opacité et de translucidité différentes [35,44]. Il existe deux approches : à main levée ou la méthode guidée [22]. Elle est indiquée pour des pertes de substance de faible étendue : fracture d'angle incisif, fermeture de diastème, transformation morphologique, traitement d'une lésion carieuse. Cette technique a l'avantage d'être peu invasive, peu onéreuse et réalisable en une seule séance [44].

Les restaurations indirectes adhésives peuvent être réalisées en composite ou en céramique (RAC). Parmi les restaurations en céramique, on retrouve les facettes, les couronnes périphériques ainsi que les endocouronnes. Elles sont collées par des composites micro-hybrides/nano-hybrides avec un système adhésif. Ces indications sont regroupées au sein d'une classification proposée par Magne et Besler (fig. 8 et 9) et ont comme avantage un résultat esthétique et une durabilité supérieure aux résines composites. Cette technique nécessite néanmoins une préparation tissulaire de la dent [22].

TYPE I	
Dents réfractaires au blanchiment	
Type IA	Colorations dues aux tétracyclines de degrés III et IV
Type IB	Dents réfractaires au blanchiment externe ou interne
TYPE II	
Modifications morphologiques majeures	
Type IIA	Dents conoïdes
Type IIB	Triangles noirs interdentaires et fermeture de diastèmes
Type IIC	Allongement des bords libres et restitution de la prééminence incisive
TYPE III	
Restaurations de grande étendue chez les adultes	
Type IIIA	Fractures coronaires étendues
Type IIIB	Pertes d'émail étendues par biocorrosion et usure
Type IIIC	Malformations congénitales et acquises généralisées
TYPE IV	
Couronnes périphériques	
Type IVA	Couronnes collées à la dentine (indications similaires à celles du type III)
Type IVB	Remplacement de couronnes périphériques existantes
TYPE V	
Endocouronnes	
Type prospectif	Restauration de dents traitées endodontiquement et sévèrement délabrées

Figure 8 : Classification des reconstitutions adhésives collées antérieures proposée par Magne et Besler [22]

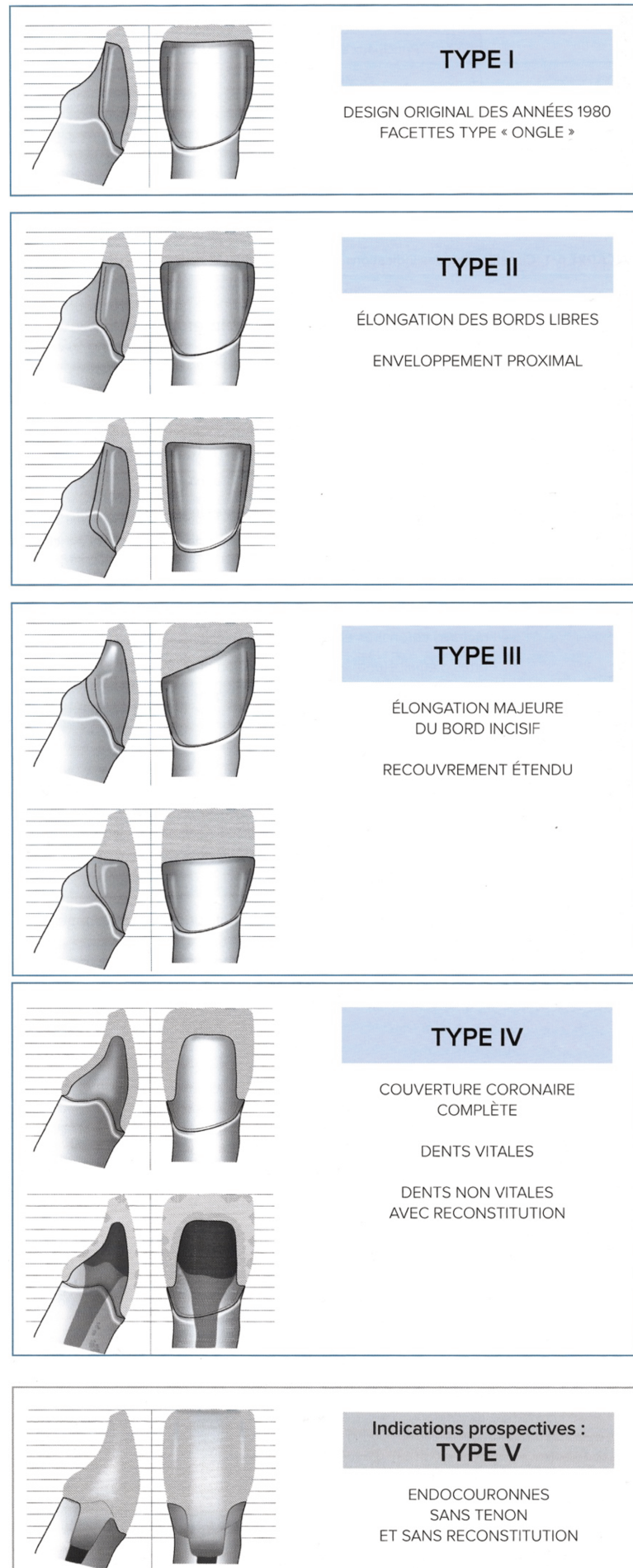


Figure 9 : Évolution de la configuration de l'élément en céramique [22]

2.2. Restauration par composite injecté

Ammanato et coll. sont les premiers auteurs à avoir décrit l'utilisation d'une clef en silicone pour mettre en forme un composite. Un composite chauffé était mis en place au niveau de la perte de substance, la clef transparente repositionnée dessus puis l'ensemble était photo-polymérisé au travers de la clef [2].

Cette technique a ensuite évolué vers le composite injecté où un composite fluide est directement injecté dans une gouttière d'injection. Et permet la réalisation de reconstitutions esthétiques semi-indirectes qui reproduit les wax-up du prothésiste en bouche.

La technique du composite injecté est un procédé indirect/direct qui permet de traduire de manière prévisible un wax-up en restauration constituée de composite dans le secteur antérieur. Les wax-up réalisés lors du projet esthétique sont utilisés pour réaliser une gouttière d'injection en silicone transparent. Du composite fluide est injecté dans la gouttière puis photo-polymérisé au travers. Cette technique non-invasive permet ainsi de reconstruire la dent sans nécessité de préparation dentaire [33]. La technique du composite injecté est présentée comme moyen de reconstitution esthétique simplifié et prédictible en limitant le temps passé au fauteuil [36].

2.2.1. Indications

Les indications de la technique du composite injecté sont multiples [33,36,37] :

- réparation de dents et de restaurations fracturées,
- restauration des surfaces occlusales usées sur les restaurations composites postérieures,
- établissement de la longueur du bord incisif avant l'allongement esthétique de la couronne,
- reconstitution provisoire de transition (pour établir la dimension verticale et pour modifier les schémas occlusaux),
- couronnes pédiatriques en composite,
- restaurations en composite : classes III, IV et V ; facettes,

- gestion de l'espace orthodontique et fermeture de diastème après traitement orthodontique,
- restauration provisoire implanto-portée,
- réparation de dents prothétiques fracturées ou manquantes.

2.2.2. Matériaux

2.2.2.1. Résine composite fluide

Les résines composites sont constituées d'une matrice organique résineuse et de charges minérales dont la cohésion est assurée par un agent de couplage, le silane. Deux paramètres majeurs des charges sont à considérer :

- Le taux de charges disponibles dans le composite. Plus ce taux est élevé plus les propriétés mécaniques seront importantes (résistance à la flexion, compression, traction et faible retrait de polymérisation) [22,34] ;
- La taille des charges. Plus ces charges sont de petite taille plus les propriétés esthétiques sont améliorées ainsi que la résistance à l'usure [22,34].

La technique du composite injecté nécessite d'utiliser un composite avec une viscosité inférieure aux composites conventionnels pour permettre leur injection au travers de la gouttière. Ces matériaux, présentent un taux de charge plus faible que les composites conventionnels, réduisant ainsi la résistance à l'usure et le rendu esthétique par rapport aux résines composites conventionnelles [41].

Terry et coll. [36] décrivent les composites injectés comme pouvant être utilisés à moyen et long terme dans le cadre d'une réhabilitation interdisciplinaire, en tant que reconstitution provisoire. En effet, les reconstitutions indirectes en composite dans le secteur antérieur sont peu recommandées car même si elles permettent une préparation plus économe en tissu, leur durée de vie est plus courte et leur qualité esthétique moins satisfaisante. Ainsi les facettes composite en secteur antérieur ne sont pas recommandées pour des reconstitutions d'usage [36].

Conscients de ces limites, les fabricants tentent de les pallier en augmentant le taux de charges des composites fluides (67% - 83%) (tableau 1). Ainsi certains composites fluides présentent des taux de charges supérieurs aux générations antérieures de composites conventionnels. Ces composites fluides plus chargés ont des propriétés mécaniques qui tendent à se rapprocher des résines composites conventionnelles [32,38] (tableau 1), mais cela reste au détriment d'un retrait de polymérisation qui provoque un stress élevé sur l'interface adhésive de collage. De plus les résultats esthétiques ne sont pas stables et nécessitent des maintenances régulières [9,41,42]. Le recul clinique sur ces matériaux de reconstruction a montré une efficacité clinique après 3 ans de service, similaire à celle du composite conventionnel dans les lésions carieuses et non carieuses [27].

Un composite fluide nano-chargé à 69 % en poids (taille des particules : 150 nm) a été sélectionné pour cette étude pilote (G-aenial UniversalTM injectable ; BW, GC Corporation). Ce composite fluide nano-chargé offre de bonnes propriétés mécaniques, notamment en termes de retrait de polymérisation et de résistance à la flexion (tableau 1), comme décrit par le fabricant et plusieurs auteurs [10,19,33,37,41]. Il constitue un bon compromis entre l'usure trois corps, la résistance à la flexion par rapport aux principaux matériaux du même type sur le marché. Cependant, les seules données disponibles sont celles fournies par le fabricant.

Tableau 1 : Comparaison des propriétés mécaniques des composites fluides versus composites conventionnels, données fabricant

Matériau (fabriquant)	Taux de charge (en %)	Stress de polymérisation (MPa) [34]	Usure trois corps (µm) [34]	Résistance à la flexion (MPa) [34]
COMPOSITE FLUIDE				
G-aenial™ Universal injectable (GC America)	69% ²	N/D	3,1 ²	173 ²
Beautifil Flow Plus (Shofu)	67% ³	1,5	37,0	118±4,4
Clearfil Majesty ES Flow Low (Kuraray)	75% ⁴	1,4	6,0	142±11,9
GrandioSo Heavy Flow (VOCO)	83% ⁵	1,7	35,0	126±12,0
COMPOSITE CONVENTIONNEL				
G-aenial Sculpt (GC America)	78% ⁶	0,8	3,8	144±2,0
Filtek Supreme Ultra (3M ESPE)	78.5% ⁷	0,72	3,3	161±5,9
Herculite Ultra (Kerr)	N/D	0,89	8,2	131±11,2
Clearfil Majesty ES-2 (Kuraray)	78%	0,61	10,5	97±3,4

N/D : Non disponible

2.2.2.2. Silicone transparent

La gouttière d'injection doit être réalisée avec un matériau ayant une transparence suffisante pour permettre la photopolymérisation du composite et le contrôle visuel au travers. De plus, le matériau doit être suffisamment rigide pour transférer fidèlement la morphologie du « wax-up » en bouche sans

² 449243-GC-gaenial universal injectable-e-ok.indd

³ Beautifil-Flow-Plus-Artikel-UK-PD-06-2012.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.shofu.de/wp-content/uploads/2016/03/Beautifil-Flow-Plus-Artikel-UK-PD-06-2012.pdf>

⁴ Kuraray [Internet]. Disponible sur: <https://www.kuraraynoritake.eu/fr/overview>

⁵ sr_materiaux-de-Restauration-de-VOCO-classification_fr.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2024]. Disponible sur: https://www.voco.dental/fr/portaldatal/1/resources/products/scientific-reports/fr/sr_materiaux-de-Restauration-de-VOCO-classification_fr.pdf

⁶ g-aenial-sculpt-sell-sheet.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.gc.dental/america/sites/america.gc.dental/files/products/downloads/gaenialsculpt/sell%20sheet/g-aenial-sculpt-sell-sheet.pdf>

⁷ Technical Product Profile

déformations, tout en étant flexible pour permettre le passage des contre-dépouilles. Le silicone transparent permet de remplir ces objectifs. Dans cette étude pilote, le silicone Exaclear (GC) a été sélectionné (tableau 2).

Tableau 2 : Propriétés de plusieurs silicones transparents pour gouttière d'injection disponible sur le marché

Matériau (Fabricant)	Dureté (Hardness) (Shore A)	Reproduction des détail (μm)
Registrado Clear (Voco)	70 A ⁸	N/D
Transil F (Ivoclar vivadent)	70 A ⁹	N/D
Elite glass (ZHERMACK)	70 A ¹⁰	20
Exaclear (GC)	60 A ¹¹	N/D

N/D : Non disponible

⁸Registrado-clear_ifu_e1.pdf [Internet]. [cité 21 avr 2024]. Disponible sur: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/instructions-for-use/e1/registrado-clear_ifu_e1.pdf

⁹ Transil F_GI_WE3_REV0_20Jun18.pdf.

¹⁰Registrado-clear_ifu_e1.pdf [Internet]. [cité 21 avr 2024]. Disponible sur: https://www.voco.dental/fr/portaldata/1/resources/products/instructions-for-use/e1/registrado-clear_ifu_e1.pdf

¹¹Exaclear-ifu.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.gc.dental/america/sites/america.gc.dental/files/products/downloads/exaclear/ifu/exaclear-ifu.pdf>

2.2.3. Protocole opératoire

2.2.3.1. « Wax-up »

Le « wax-up » ou cire de diagnostic est une modélisation en cire ou numérique de la reconstitution souhaitée être obtenue, à partir de la situation en bouche. Il permet, avant la réalisation définitive des restaurations dentaires, de faciliter la communication entre le prothésiste, le praticien et le patient. Il est réalisé sur un modèle en plâtre à l'aide de cire ou sur un modèle numérique avec un logiciel spécifique.

Le projet esthétique peut être réalisé après la prise d'empreinte numérique ou physique et après l'analyse esthétique et fonctionnelle. Ce projet servira ensuite de guide pour réaliser les wax-up analogiques ou numériques (fig. 10, A et B).

Le wax-up permet ensuite de fabriquer la gouttière d'injection par coulage de silicone transparent ou par modélisation d'une gouttière virtuelle.

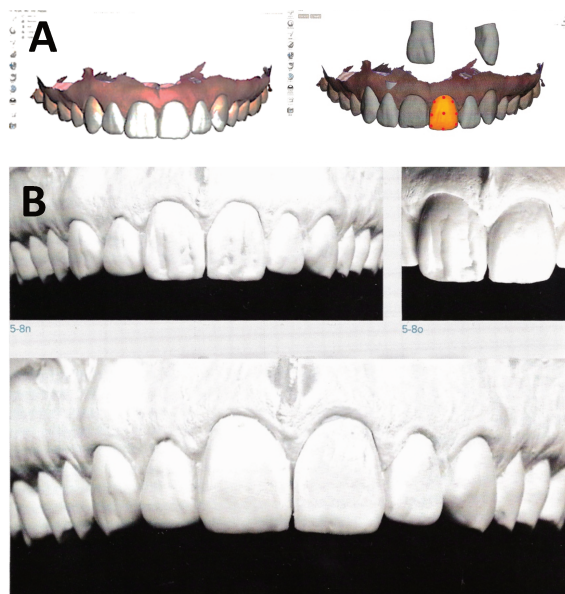


Figure 10 : A : Exemple de wax-up numérique avec Autodesk Meshmixer [22] ; B : Exemple de wax-up analogique [22]

2.2.3.2. Gouttière d'injection

Une étude a montré que pour des résultats optimaux, l'épaisseur de la gouttière d'injection en silicone doit être de 6 mm. En effet la dureté (Shore A) du silicone est inversement proportionnelle à l'épaisseur de celui-ci [28].

Afin de contrôler cette épaisseur, plusieurs techniques ont été mises au point. Un porte-empreinte est spécifiquement conçu (numériquement ou non), pour que la répartition du silicone soit homogène et uniforme lors de l'insertion (fig. 11, A) [6,19]. Geštakovski propose de positionner des cales en silicone lourd dans un porte-empreinte métallique afin d'assurer une bonne position et répartition du silicone transparent (fig. 11, B et C) [10].

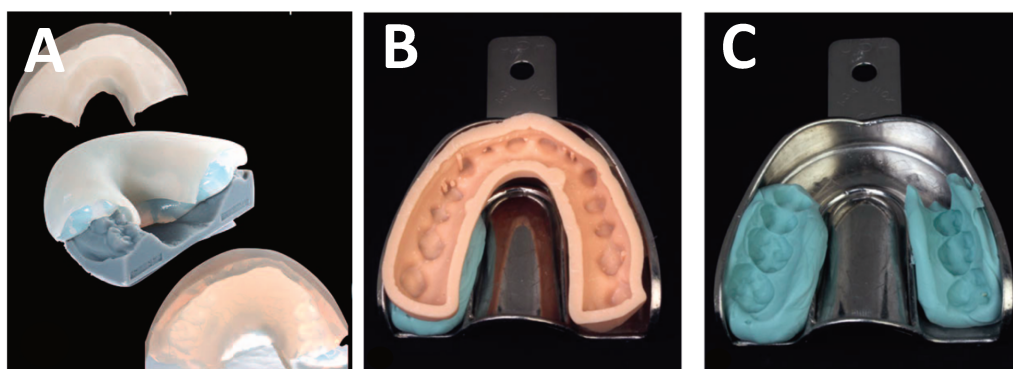


Figure 11 : A : Porte empreinte spécifique [26] ; B et C : Cales en silicone lourd [10]

L'empreinte des wax-up est réalisée à l'aide d'un silicone transparent. Pour un résultat optimal, il est possible de le placer dans un pot à haute pression (2 bars) pendant 7 minutes pour éviter toute formation de bulles [10]. Il est important d'éliminer les excès, après la prise du silicone. Un pertuis est ensuite réalisé en regard de la dent à reconstituer afin de créer un aménagement pour l'aiguille du composite [19] (fig. 12).

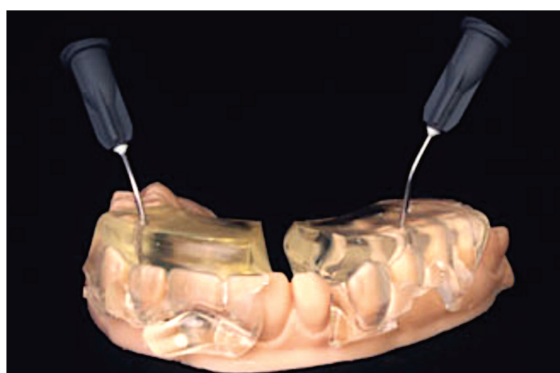


Figure 12 : Gouttière en silicone transparent [10]

2.2.3.3. Mise en place du champ opératoire

La mise en place du champ opératoire est nécessaire afin d'obtenir une étanchéité du site pour le protocole de collage. (fig.13) [12]. La mise en place d'une ligature ou d'un cordon de rétraction gingivale peut s'avérer nécessaire si la reconstitution implique d'accéder à la limite cervicale [12,33].



Figure 13 : Digue mise en place [12]

La gouttière est ensuite essayée pour contrôler son bon ajustement sur les dents (fig. 14) [12].



Figure 14 : Essayage de la gouttière [12]

2.2.3.4. Protocole de collage

Du téflon est mis en place sur les dents adjacentes afin de les protéger, puis un mordantage est réalisé avec un acide orthophosphorique (fig. 15).



Figure 15 : Mordantage [12]

Après rinçage et séchage, un adhésif universel est appliqué puis les excès sont éliminés par un spray d'air. L'ensemble est ensuite photopolymérisé (Fig. 16) [10,33,37].

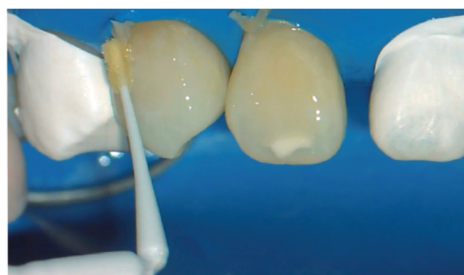


Figure 16 : Mise en place de l'adhésif universel [12]

2.2.3.5. Mise en place du composite injectable

La gouttière transparente en silicone est positionnée et son ajustage est contrôlé. Le composite fluide est injecté à travers le pertuis sous contrôle visuel puis photopolymérisé 20 secondes sur chacune des faces à travers la clef en silicone [12,33,34] (fig.17).

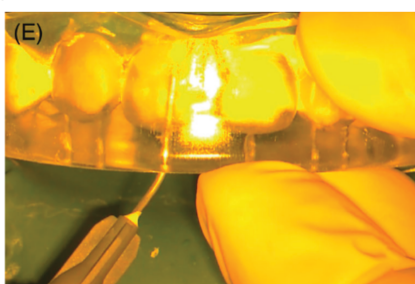


Figure 17 : injection du composite fluide [12]

2.2.3.6. Étapes de finition et polissage

La gouttière est déposée, puis les étapes de finition sont réalisées pour enlever les excédents. Des étapes de polissage et de brillantage sont nécessaires pour un état de surface optimal. Les excédents peuvent-être retirés à l'aide d'un scalpel numéro 12 (fig. 18, A) et d'un strip abrasif pour les faces proximales (fig. 18, C).

Les excédents au niveau de la limite cervicale peuvent être éliminés par une fraise flamme de finition (fig. 18, B). Un disque à polir est utilisé sur le bord incisif et proximal [12,34,37]. Enfin un brillantage du composite permet de prévenir l'accumulation de plaque et de retarder l'apparition de colorations inesthétiques (fig. 18, D) [14,37].

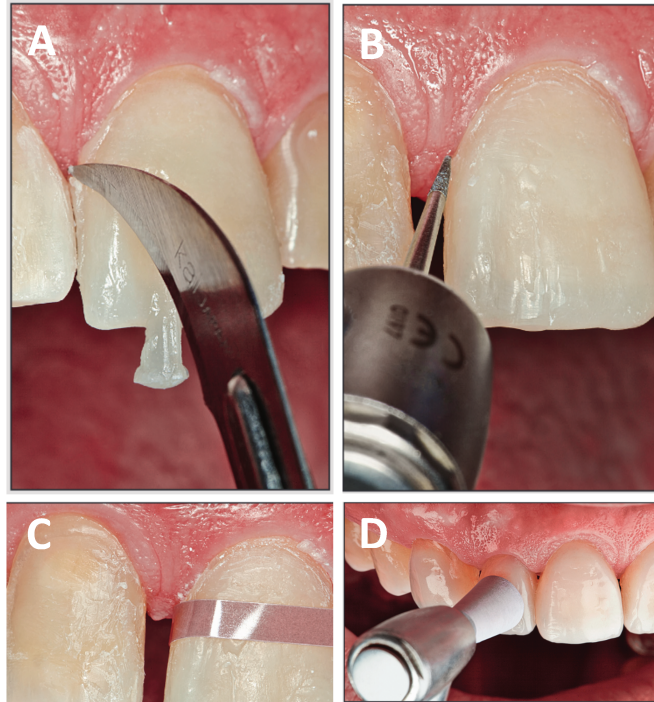


Figure 18 : A : Élimination des excès de composite avec un scalpel numéro 12 sur une 21 [34] ; B : Accès à la limite cervicale d'une 21 avec une fraise flamme [34] ; C : Utilisation strippe abrasive pour la limite cervicale proximale d'une 21[34] ; D : Brillantage du composite sur une 12 [34]

2.2.3.7. Phase de maintenance

Une phase de maintenance est à mettre en place en fonction du profil et des risques individuels. Lors de ces rendez-vous un polissage et un brillantage sont réalisés pour éliminer les éventuelles colorations et rétablir l'état de surface si nécessaire [9,41].

2.2.4. Avantages et inconvénients

Cette technique présente des avantages : elle est non-invasive, ne nécessite pas de préparation dentaire et s'inscrit parfaitement dans le principe d'économie tissulaire. Elle permet également une meilleure communication entre le patient et le praticien lors de la planification du traitement [34]. Elle est économique comparée aux reconstitutions adhésives en céramique (RAC). Elle permet la prévisibilité et la reproductibilité du résultat final [10]. Cette technique permet de réduire le temps passé au fauteuil par rapport à la stratification, mais nécessite deux séances cliniques. De plus le protocole de collage ne nécessite pas d'acide fluorhydrique comparé au protocole de collage des RAC. Une stratification est possible pour un meilleur rendu esthétique avec un protocole réunissant deux

gouttières transparentes pour deux teintes différentes de composite différentes [34].

Cependant certains inconvénients sont à noter. En effet le résultat esthétique des reconstitutions en composite injecté reste aujourd'hui inférieur aux RAC concernant la reproduction de la couleur et ce, même avec plusieurs gouttières pour une stratification. La mise en place d'une digue est nécessaire pour l'isolation lors du protocole de collage. Cependant le positionnement de la gouttière nécessite une digue largement étendue ce qui peut inciter certains auteurs à ne pas l'utiliser, avec les risques que cela implique. La pérennité de ces restaurations sur le long terme reste incertaine : peu d'études sont encore disponibles, et les avantages de cette technique sur le long terme restent à évaluer [34]. De plus cette technique nécessite des maintenances régulières comprenant des polissages pour conserver un résultat acceptable.

2.2.5. Apport de l'impression 3D pour la gouttière transparente

Au cours de la dernière décennie, la dentisterie numérique s'est démocratisée et s'impose de plus en plus, et il est possible de concevoir et fabriquer des modèles 3D et des dispositifs médicaux à un prix acceptable avec une précision satisfaisante pour la pratique quotidienne [10]. En dentisterie restauratrice, les gouttières d'injection peuvent être mise en forme par CFAO.

Cependant il n'existe à ce jour pas de donnée dans la littérature concernant les paramètres de mise en forme, les recommandations d'utilisation, ni les résultats obtenus avec ce type de gouttière.

De plus, les matériaux disponibles pour ce type de dispositif évoluent. Ainsi une nouvelle résine commercialisée depuis octobre 2023 a été spécifiquement développée pour la mise en forme de gouttières. Cliniquement, cette technique permettrait un meilleur contrôle de l'épaisseur et une meilleure reproductibilité en supprimant l'influence du praticien.

2.3. Problématique et objectif

Aucune donnée n'est disponible dans la littérature concernant la précision des reconstitutions par composite injecté réalisées par des gouttières mise en forme par technique additive.

Ainsi, l'objectif de cette thèse est de constituer une étude pilote pour valider la faisabilité d'une étude comparative de la précision des composites injectés réalisés par gouttière conventionnelle et par gouttière mise en forme par technique additive.

3. Matériel et méthodes

3.1. Conception et fabrication des modèles expérimentaux

Des modèles préopératoires de dents riziformes de 12 et 22 ont été développés spécifiquement pour cette étude pilote en aménageant un scan optique intraoral d'une arcade maxillaire à l'aide d'une caméra Trios 3 (3SHAPE), à l'aide du logiciel Meshmixer (Autodesk). Le modèle a été sectionné dans le plan sagittal au niveau du centre inter incisif. Le secteur 2 a été conservé, le secteur 1 a été reconstruit en réalisant un miroir du secteur 2 afin d'obtenir deux hémis-arcades symétriques. Les données ont ensuite été exportées puis sauvegardées au format .STL (fig. 19, A).

Des modèles numériques de wax-up ont ensuite été réalisés sur les dents 12 et 22 (Meshmixer ; Autodesk) afin de reproduire numériquement la forme finale des restaurations (fig. 19, B).

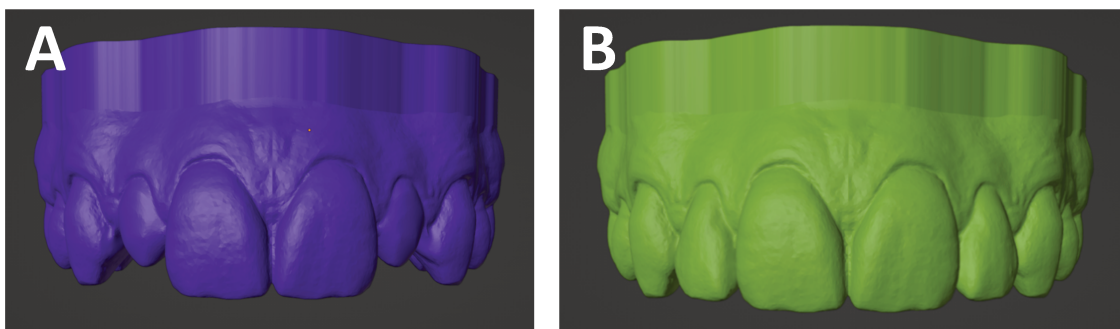


Figure 19 : A : Visualisation 3D du fichier STL de l'empreinte optique ; B : Visualisation 3D du fichier STL du wax-up numérique

Les modèles préopératoires et de wax-up ont été mis en forme par stéréolithographie (Formlab 3B ; Formlabs) avec une résine dental model V3 (Formlabs) à une résolution de 50 µm (fig. 20, A et B).

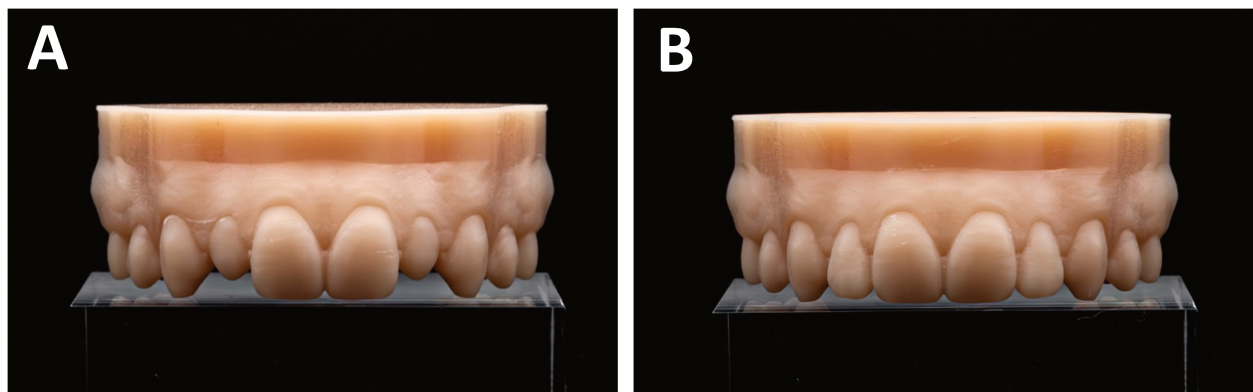


Figure 20 : A : Modèle préopératoire imprimé en 3D ; B : Modèle du wax-up imprimé en 3D

En vue de l'étude à venir, 15 modèles préopératoire et 1 modèle de wax-up ont été mis en forme. La reproductibilité du procédé de mise en forme du modèle préopératoire a été mesurée en comparant les données .STL d'un scanner intra-buccal (Primescan ; Dentsply Sirona) de chaque modèle avec les données .STL du modèle préopératoire de références sur le logiciel Geomagic Control X (3D SOLUTIONS) (fig. 21). Une étude a montré une justesse du scanner sur arcade complète de $28,73 \pm 0,77 \mu\text{m}$, et une fidélité arcade complète $15,74 \pm 2,45 \mu\text{m}$ [5].

Les modèles préopératoires ont été superposés et alignés avec le modèle de référence à l'aide des outils « alignement initial » puis « alignement au meilleur ajustement ». L'écart moyen entre les modèles a été mesuré par l'outil de « comparaison 3D » qui a permis le calcul de la moyenne quadratique des déviations entre le modèle préopératoire de référence et les modèles préopératoire (Root Mean Square : RMS) (équation 1) où D représente la déformation en µm et n le nombre de point de mesures.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i^2}$$

Équation 1 : Root Mean Square (RMS)

3.2. Conception et fabrication des gouttières d'injection

Une gouttière d'injection en silicone a été réalisée sur le modèle wax-up, en reprenant le protocole approfondi de Geštakovski [10] décrit initialement par Terry et Powers [33,36,37]. Les étapes de réalisation sont :

- réalisation des cales en silicone lourd (fig. 22, A),
- aménagement des cales en silicone lourd (fig. 22, B),
- application du silicone transparent sur le modèle en regard de la dent à reconstituer et dans le porte-empreinte métallique avec les cales aménagées (fig. 22, C, D),
- prise d'empreinte du wax-up avec le silicone transparent dans le porte-empreinte aménagé (fig. 23, A),
- retrait du modèle après la prise du silicone transparent et élimination des excès (fig. 23, B),
- démoulage de la gouttière en silicone transparent (fig. 23, C),
- Réalisation d'un pertuis avec l'aiguille d'injection du composite (fig. 23, C, D).

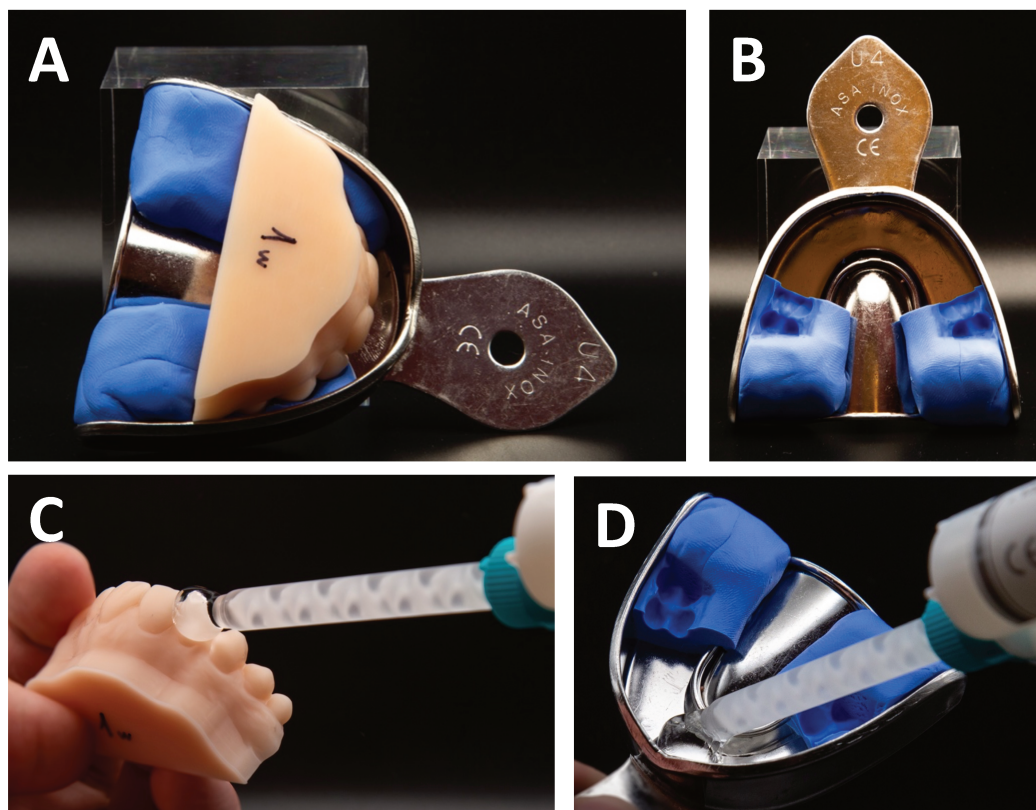


Figure 21 : A : Réalisation des cales en silicone lourd ; B : Aménagement des cales ; C : Application du silicone transparent sur le modèle en regard de la dent à reconstituer ; D : Chargement du silicone transparent dans la porte empreinte métallique

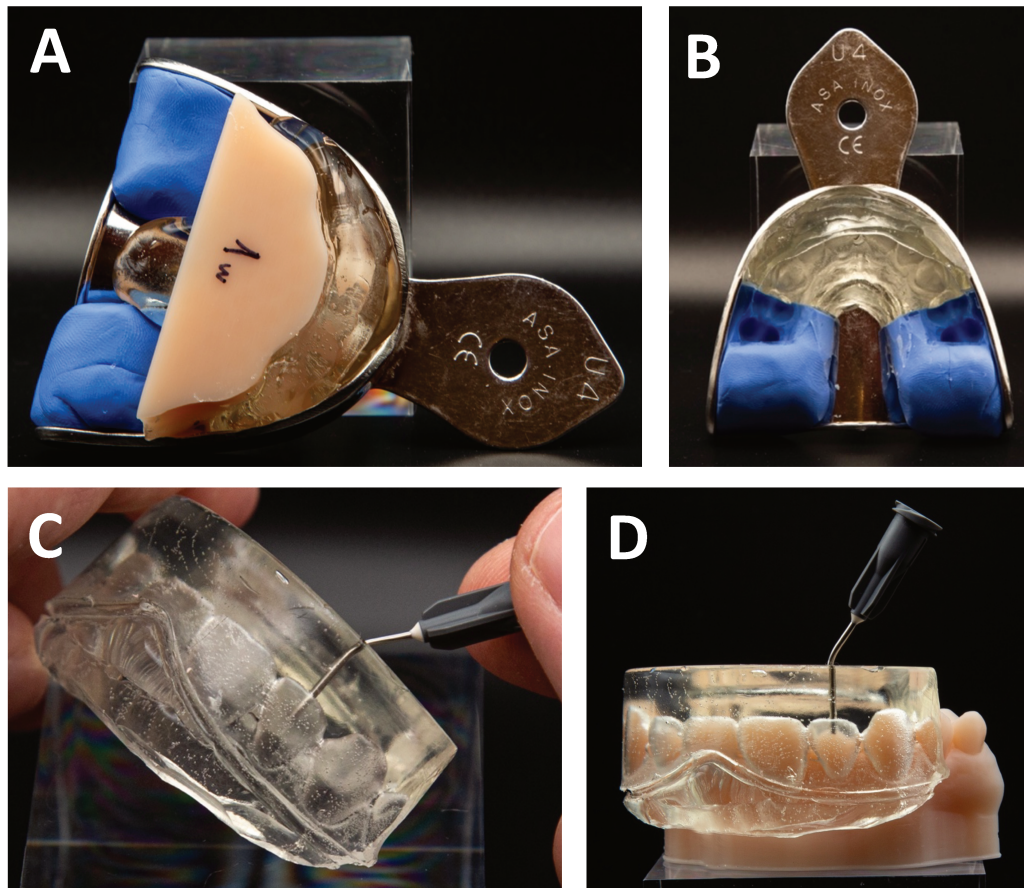


Figure 22 : A : Prise d'empreinte du wax-up, avec le silicone transparent dans le porte empreinte aménagé avec les cales en silicone lourd ; B : Retrait du modèle avec la prise du silicone transparent, suppression des excès de silicone transparent ; C : Gouttière de silicone transparent démoulée, réalisation du pertuis à l'aide de l'aiguille d'injection du composite ; D : Gouttière d'injection en silicone transparent positionnée sur le modèle, avec la seringue du composite

Deux gouttières d'injection ont été modélisées grâce au logiciel Meshmixer (Autodesk), avec des épaisseurs de 2 et 4 mm afin de déterminer l'épaisseur optimale de la gouttière. Les gouttières d'injection ont été imprimées (Formlab 3B ; Formlabs) avec la résine IBT Flex (Formlabs). Cette résine, disponible depuis octobre 2023, est indiquée pour la réalisation de gouttières d'injection pour composite mises en forme par stéréolithographie. Elle est biocompatible de classe I, stérilisable, flexible, avec une transparence de 85 % (à 2 mm), une résistance à la rupture par traction de 7,2 MPa et un module de traction de 8,0 MPa. (données du fabricant¹²).

L'impression des gouttières d'injection sur l'imprimante Formlab 3B (Formlabs) (fig. 24, A) nécessite l'utilisation du logiciel PreForm (Formlabs). Une fois le fichier .STL importé, il faut positionner l'objet 3D sur la représentation 3D du plateau

¹² « IBT FLEX V1 », s. d. .

d'impression, puis le logiciel positionne les supports d'impression. Le temps d'impression pour 2 gouttières est de 7 heures et 30 minutes.

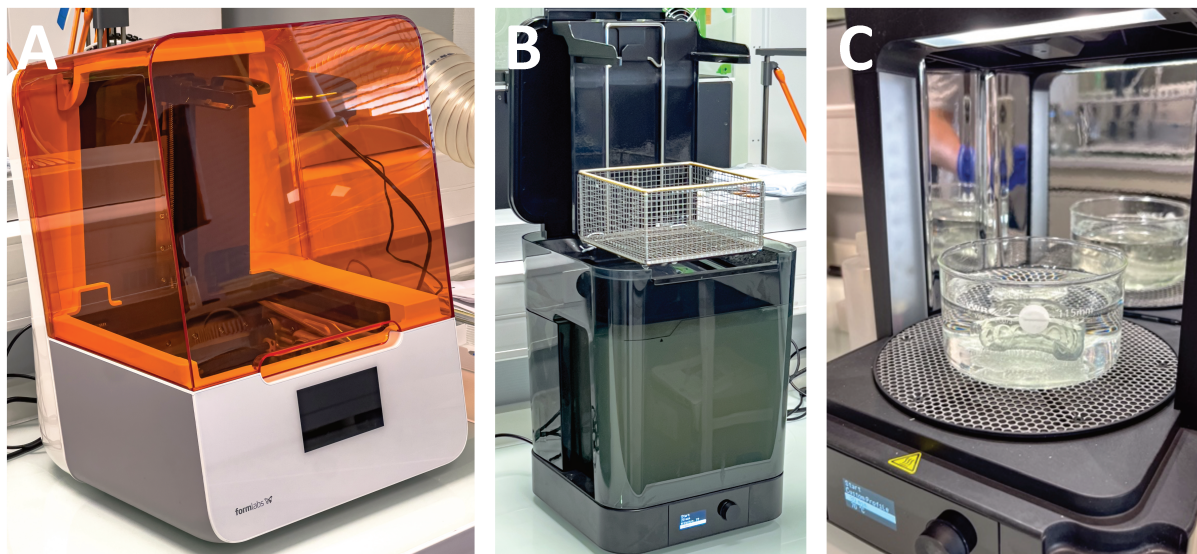


Figure 23 : A : Imprimante Formlab 3B (Formlabs) ; B : Form Wash (Formlabs) ; C : Form Cure (Formlabs), avec deux gouttières placées dans de l'eau

Le post-traitement des gouttières nécessite plusieurs étapes. Dans un premier temps, les gouttières sont immergées dans un bain d'alcool isopropylique via le dispositif Form Wash (Formlabs) (fig. 24, B) pendant 20 minutes. Ce bain doit être dédié exclusivement à l'usage de ces gouttières pour garantir la biocompatibilité. Pour garantir la perméabilité des pertuis, un décathlon de cathéter est passé pour évacuer la résine non photopolymérisée qui pourrait s'y bloquer. Après avoir laissé sécher les pièces, la post-polymérisation est réalisée avec la Form Cure (Formlabs) (fig. 24, C) pendant 30 minutes à 70 °C. Les gouttières doivent être immergées dans de l'eau, ce qui augmente le temps de chauffe de l'appareil à 1 heure et 30 minutes.

Dans un troisième temps, les gouttières doivent être rincées et lavées avec un savon neutre, puis les supports sont retirés grâce aux instruments spécifiques prévus à cet effet. Finalement, le temps total du post-traitement est d'environ 4 heures.

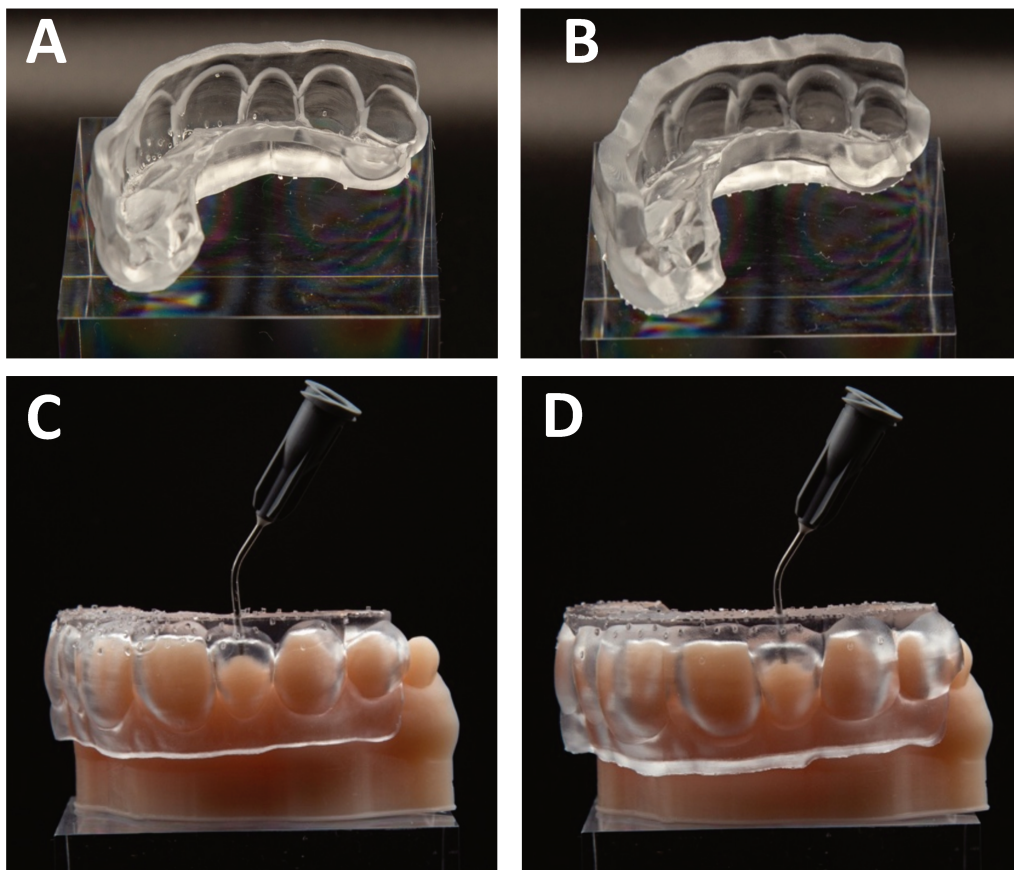


Figure 24 : A : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 2 mm d'épaisseur imprimée en SLA ; B : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 4 mm d'épaisseur imprimée en SLA ; C : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 2 mm d'épaisseur imprimée en SLA positionnée sur le modèle préopératoire avec l'aiguille d'injection du composite dans le pertuis ; D : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 4 mm d'épaisseur imprimée en SLA positionnée sur le modèle préopératoire avec l'aiguille d'injection du composite dans le pertuis

3.3. Collage et évaluation des restaurations composites

3.3.1. Collage des composites

Les reconstitutions par composites injectés ont été réalisées sur trois modèles préopératoires avec des gouttières d'injection en silicone transparent et en résine IBT Flex (Formlabs) de 2 et 4 mm d'épaisseur. Les étapes de réalisation ont suivi le protocole décrit par Terry et Powers [33,36,37], avec quelques adaptations en raison du protocole expérimental :

- essai de la gouttière d'injection,
- mise en place de Teflon[®],
- positionnement de la gouttière d'injection,
- injection du composite,

- photopolymérisation du composite pendant 20 secondes sur chaque face, comme recommandé par le fabricant¹³.

Les reconstitutions ont été effectuées sur les modèles imprimés (fig. 25), mais les étapes de finition n'ont volontairement pas été réalisées, car leur mise en forme dépend principalement de l'intervention à main levée du clinicien [19].

Les modèles avec les composites terminés ont été nommés modèles expérimentaux et répartis selon 3 groupes : CFAO 2 (composite par gouttière CFAO de 2 mm), CFAO 4 (composite par gouttière CFAO de 4 mm) et Conventionnelle (composite par gouttière en silicone transparent coulé) (n = 1/groupe) (fig. 25).

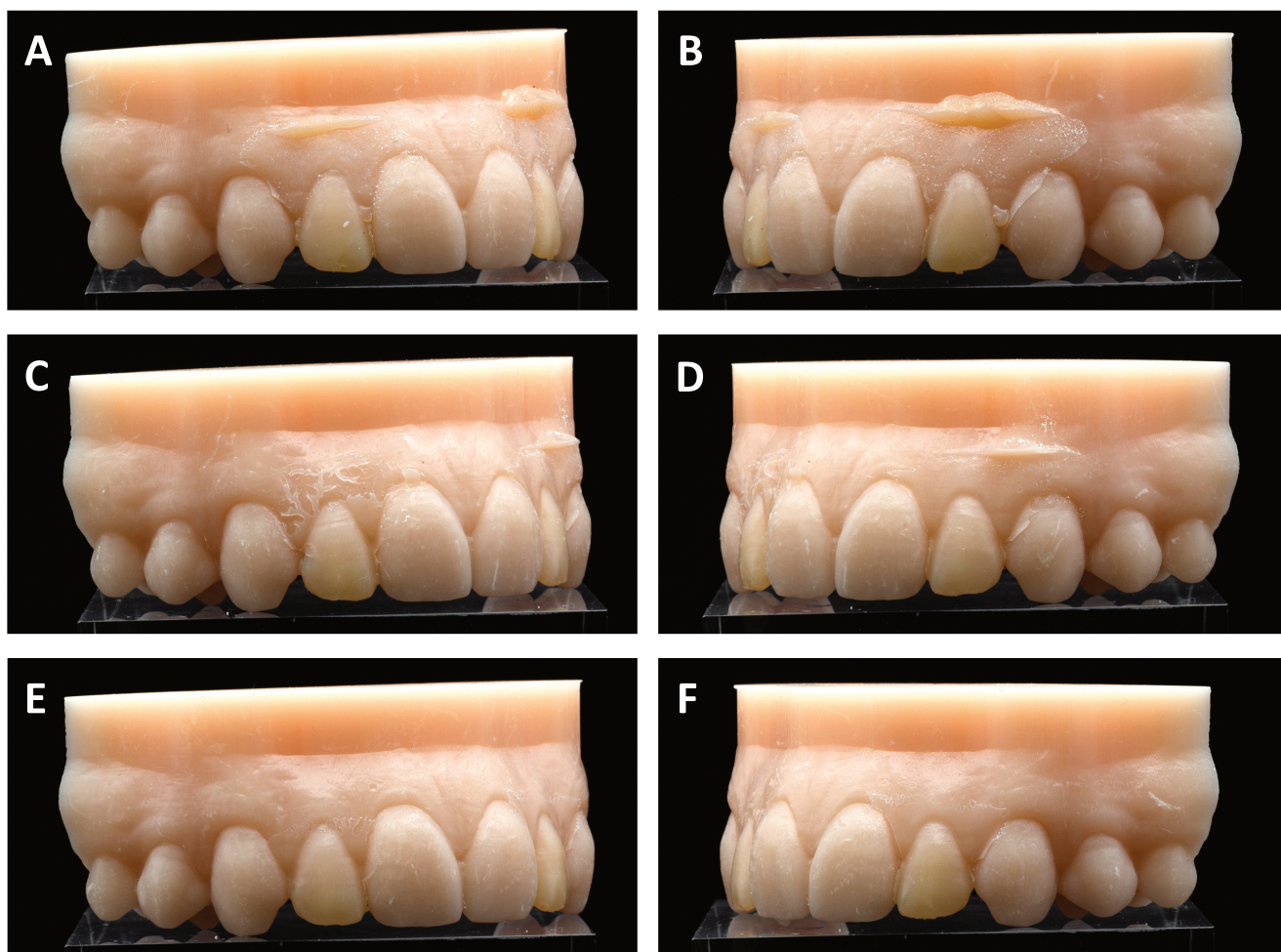


Figure 25 : Composite injecté brut réalisé avec les différentes gouttières d'injection (A et B : gouttière en silicone, C et D : gouttière CFAO de 2 mm, E et F : gouttière CFAO de 4 mm).

¹³ g-aenial-sculpt-sell-sheet.pdf [Internet]. [cité 20 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.gc.dental/america/sites/america.gc.dental/files/products/downloads/gaenialsculpt/sell%20sheet/g-aenial-sculpt-sell-sheet.pdf>

3.3.2. Évaluation de la morphologie des composites

Les reconstitutions en composite ont été scannées (Primescan ; Dentsply Sirona). Le logiciel Geomagic Control X (3D SOLUTIONS) a permis la comparaison des scans des reconstitutions en composite avec le scan des wax-up imprimés ayant servi à la réalisation des gouttières. Les modèles ont été superposés et alignés, puis la distance moyenne entre les deux surfaces a été calculée à l'aide de l'outil de comparaison 3D.

L'écart entre les composites et le wax-up a été mesuré sur plusieurs zones de la surface de la dent par l'écart entre modèle wax-up et la surface des composites : zone vestibulaire, zone palatine, zones proximales mésiales et distales, ainsi qu'une zone au bord libre (fig. 26, A e B).

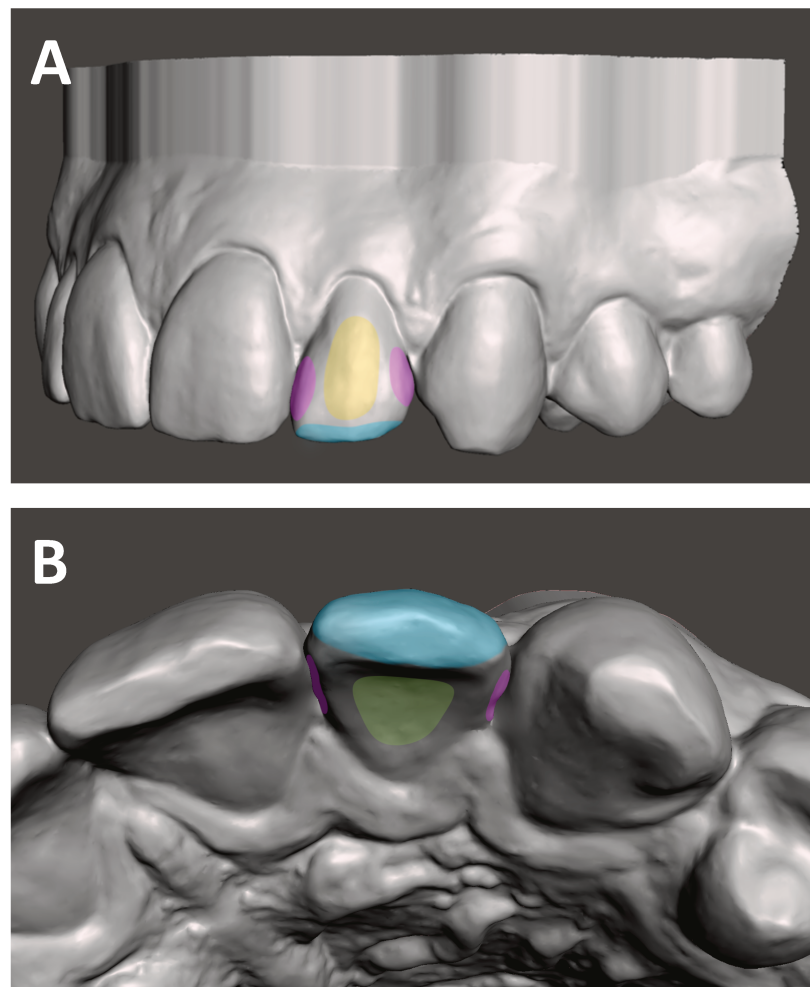


Figure 26 : Schéma des zones de mesure de l'écart des composites avec les wax-up en vues vestibulaire (A) et occlusale (B). L'écart est mesuré sur la zone proximale mésiale et distale (rose), le bord libre (bleu) et la zone vestibulaire (jaune).

4. Résultats et discussion

4.1. Reproductibilité des modèles

La moyenne d'écart entre les modèles préopératoire et le modèle préopératoire de référence mis en forme par stéréolithographie était de 37 ± 6 μm (Tableau 3) (fig. 27). Ces résultats, inférieurs à la résolution d'impression du dispositif de mise en forme additif (50 μm) ne sont pas surprenants et montrent que le procédé de fabrication des modèles est fidèle et reproductible entre eux. Il est donc utilisable pour l'étude de la forme des composites injectés sur des modèles imprimés.

Tableau 3 : Moyenne d'écart des scans des modèles préopératoires par rapport au scan du modèle préopératoire de référence

Modèles	Écart moyen avec le modèle de référence (μm)
1	47
2	36
3	28
4	35
5	35
6	3
7	4
8	35
9	39
10	36
11	32
12	37
13	53
14	38
Moyenne	37
Écart-type	6

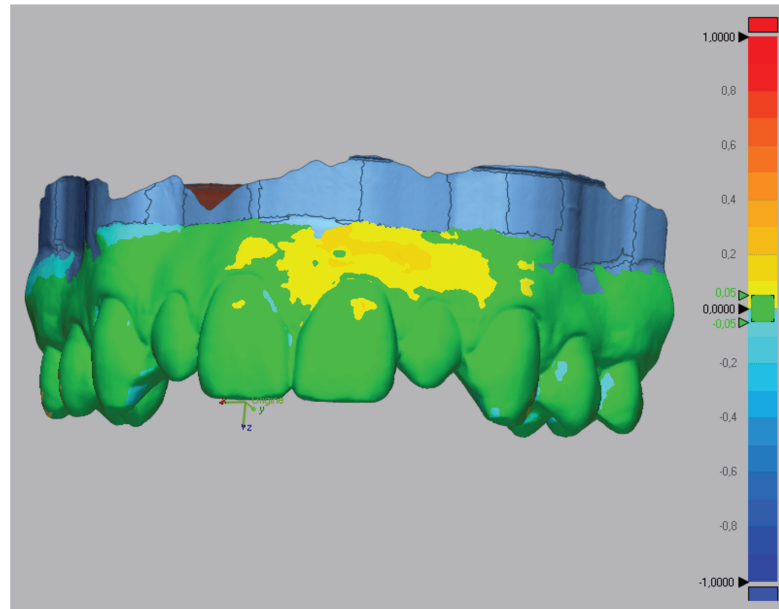


Figure 27 : Représentation graphique de l'écart réalisée à l'aide de l'outil de comparaison 3D (Geomagic Control X ; 3D SOLUTIONS)

4.2. Fabrication des gouttières

La gouttière d'injection en silicone ainsi que les gouttières d'injection réalisées en résine IBT Flex (Formlabs) ont pu être fabriquées. Elles ont été utilisées dans cette étude pilote pour la mise en forme des composites sur les modèles préopératoires. Il est à noter que la gouttière de 2 mm de diamètre présentait une plus grande souplesse, nécessitait une manipulation plus complexe et montrait une tendance à la déformation et une mémoire de forme moins marquée par rapport à la gouttière de 4 mm.

4.3. Précision des composites

La précision des composites a été mesurée par l'écart moyen entre les composites et les wax-up. L'écart moyen en valeur absolue entre les composites et les wax-up était situé entre 30 μm et 184 μm pour tous les échantillons et ces résultats varient en fonction de la gouttière utilisée. Ces résultats sont du même ordre de grandeur que les travaux de Kouri et coll. [19] qui montrent un écart médian compris entre -100 μm à +200 μm par rapport à un modèle de référence, en valeurs relatives.

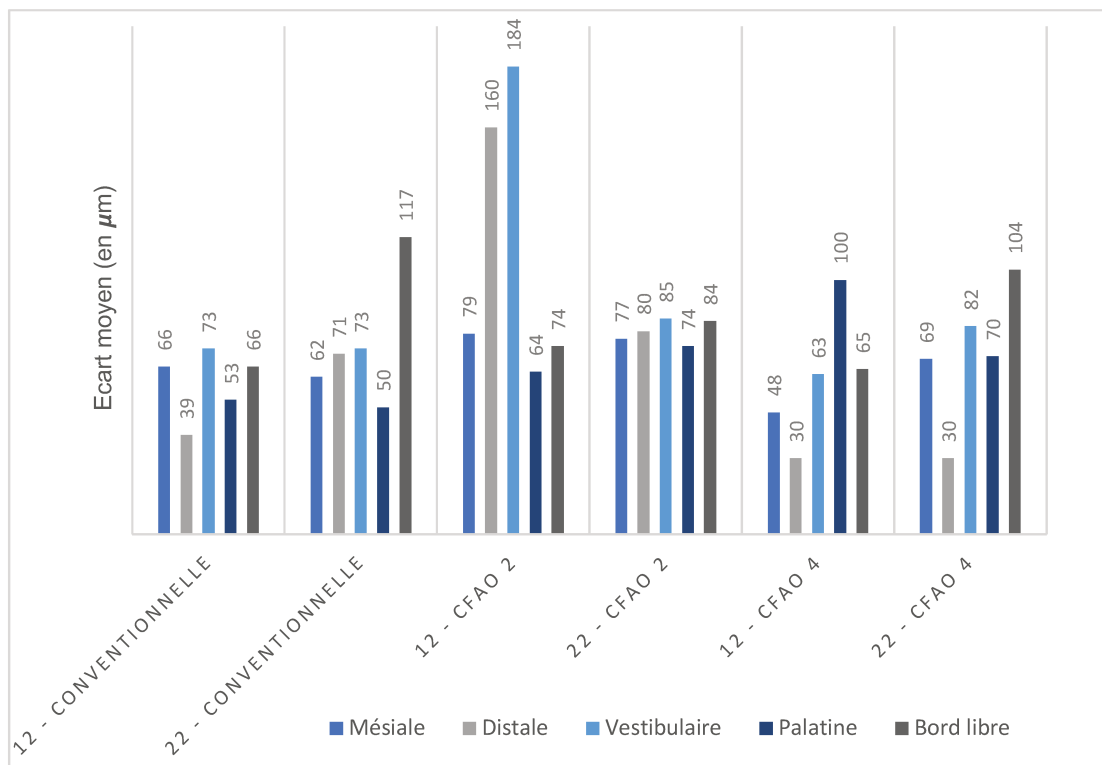


Figure 28 : Écart moyen des composites injectés par rapport au wax-up selon la gouttière d'injection (conventionnelle, CFAO 2 et CFAO 4) et par zone (mésiale, distale, vestibulaire palatine et bord libre)

Pour les zones mésiale, vestibulaire et du bord libre, les écarts moyens des composites réalisés avec la gouttière CFAO 4 et la méthode conventionnelle étaient similaires.

Pour les zones distales, les composites fabriqués par la gouttière CFAO 4 montraient les écarts les plus faibles. Les composites fabriqués par la gouttière CFAO 2 présentaient les écarts les plus élevés dans les zones distales et vestibulaires, avec une forte variabilité. Ceci s'explique par la tendance à la déformation relevée précédemment de la gouttière CFAO 2 qui est trop fine et entraîne des déformations et un manque de reproductibilité des composites. C'est pourquoi les gouttières d'injection CFAO doivent être conçues avec une épaisseur de 4 mm.

Cette étude pilote montre la faisabilité du protocole expérimental pour la comparaison de la précision des restaurations par composite injectée effectuées par gouttières CFAO.

5. Conclusion et perspectives

Cette étude pilote a permis de montrer la faisabilité d'une étude comparative pour évaluer la précision des composites injectés réalisés par différentes techniques. Les modèles préopératoires étaient reproductibles et ont pu être utilisés pour mettre en forme des composites injectés à l'aide de gouttières d'injection conventionnelle et CFAO de différentes épaisseurs (2 et 4 mm). Les gouttières de 2 mm d'épaisseur provoquent des déformations à l'origine d'une forte variabilité des restaurations.

Désormais l'étude principale pourra être réalisée avec un nombre d'échantillons plus important, en comparant les restaurations réalisées par gouttières conventionnelles et CFAO 4.

Tables des figures

Figure 1 : Classification ICDAS [25].....	15
Figure 2 : Traumatismes dentaires selon la classification d'Andreassen [23]..	16
Figure 3 : WES et PES critères, Belser et coll. [4]	17
Figure 4 : Critères fondamentaux objectifs de Magne et Besler [22]	18
Figure 5 : Les cinq dimensions de la couleur en dentisterie selon la technique de Vanini [39]	19
Figure 6 : A : Protocole DSD, photo du sourire avec les écarteurs [24] ; B : DSD, Planification [24].....	21
Figure 7 : Le gradient thérapeutique selon G. Tirlet et JP. Attal [44]	22
Figure 8 : Classification des reconstitutions adhésives collées antérieures proposée par Magne et Besler [22].....	23
Figure 9 : Évolution de la configuration de l'élément en céramique [22].....	24
Figure 10 : A : Exemple de wax-up numérique avec Autodesk Meshmixer [22] ; B : Exemple de wax-up analogique [22]	30
Figure 11 : A : Porte empreinte spécifique [26] ; B et C : Cales en silicone lourd [10]	31
Figure 12 : Gouttière en silicone transparent [10]	31
Figure 13 : Digue mise en place [12]	32
Figure 14 : Essayage de la gouttière [12]	32
Figure 15 : Mordançage [12]	32
Figure 16 : Mise en place de l'adhésif universel [12]	33
Figure 17 : injection du composite fluide [12].....	33
Figure 18 : A : Élimination des excès de composite avec un scalpel numéro 12 sur une 21 [34] ; B : Accès à la limite cervicale d'une 21 avec une fraise flamme [34] ; C : Utilisation strippe abrasive pour la limite cervicale proximale d'une 21[34] ; D : Brillantage du composite sur une 12 [34]	34
Figure 19 : A : Visualisation 3D du fichier STL de l'empreinte optique ; B : Visualisation 3D du fichier STL du wax-up numérique	36
Figure 20 : A : Modèle préopératoire imprimé en 3D ; B : Modèle du wax-up imprimé en 3D.....	37
Figure 21 : A : Réalisation des cales en silicone lourd ; B : Aménagement des cales ; C : Application du silicone transparent sur le modèle en regard de la dent à reconstituer ; D : Chargement du silicone transparent dans la porte empreinte métallique.....	38

Figure 22 : A : Prise d'empreinte du wax-up, avec le silicone transparent dans le porte empreinte aménagé avec les cales en silicone lourd ; B : Retrait du modèle avec la prise du silicone transparent, suppression des excès de silicone transparent ; C : Gouttière de silicone transparent démoulée, réalisation du pertuis à l'aide de l'aiguille d'injection du composite ; D : Gouttière d'injection en silicone transparent positionnée sur le modèle, avec la seringue du composite	39
Figure 23 : A : Imprimante Formlab 3B (Formlabs) ; B : Form Wash (Formlabs) ; C : Form Cure (Formlabs), avec deux gouttières placées dans de l'eau	40
Figure 24 : A : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 2 mm d'épaisseur imprimée en SLA ; B : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 4 mm d'épaisseur imprimée en SLA ; C : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 2 mm d'épaisseur imprimée en SLA positionnée sur le modèle préopératoire avec l'aiguille d'injection du composite dans le pertuis ; D : Gouttière d'injection en résine IBT Flex de 4 mm d'épaisseur imprimée en SLA positionnée sur le modèle préopératoire avec l'aiguille d'injection du composite dans le pertuis	41
Figure 25 : Composite injecté brut réalisé avec les différentes gouttières d'injection (A et B : gouttière en silicone, C et D : gouttière CFAO de 2 mm, E et F : gouttière CFAO de 4 mm).....	42
Figure 26 : Schéma des zones de mesure de l'écart des composites avec les wax-up en vues vestibulaire (A) et occlusale (B). L'écart est mesuré sur la zone proximale mésiale et distale (rose), le bord libre (bleu) et la zone vestibulaire (jaune).....	43
Figure 27 : Représentation graphique de l'écart réalisée à l'aide de l'outil de comparaison 3D (Geomagic Control X ; 3D SOLUTIONS).....	45
Figure 28 : Écart moyen des composites injectés par rapport au wax-up selon la gouttière d'injection (conventionnelle, CFAO 2 et CFAO 4) et par zone (mésiale, distale, vestibulaire palatine et bord libre).....	46

Tables des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des propriétés mécaniques des composites fluides versus composites conventionnels, données fabricant.....	28
Tableau 2 : Propriétés de plusieurs silicones transparents pour gouttière d'injection disponible sur le marché	29
Tableau 3 : Moyenne d'écart des scans des modèles préopératoires par rapport au scan du modèle préopératoire de référence.	44

Tables des équations

Équation 1 : Root Mean Square (RMS).....	37
---	----

Bibliographies

1. Almuallem Z, Busuttil-Naudi A. Molar incisor hypomineralisation (MIH) – an overview. *Br Dent J*. 2018;225(7):601-9.
2. Ammannato R, Ferraris F, Marchesi G. The “index technique” in worn dentition: a new and conservative approach. *Clin Res*. 2018;13(4):2-23.
3. Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L, éditeurs. Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth. Fifth edition. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell; 2019.
4. Belser UC, Grütter L, Vailati F, Bornstein MM, Weber H-P, Buser D. Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *J Periodontol*. 2009;80(1):140-51.
5. Chen Y, Zhai Z, Watanabe S, Nakano T, Ishigaki S. Understanding the effect of scan spans on the accuracy of intraoral and desktop scanners. *J Dent*. 2022;124.
6. Coachman C, De Arbeloa L, Mahn G, Sulaiman T, Mahn E. An improved direct injection technique with flowable composites. A digital workflow case report. *Oper Dent*. 2020;45(3):235-42.
7. Françoise Tilotta, Alain Lautrou, Gérard Lévy. Anatomie dentaire. ELSEVIER; 2018.
8. Fürhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin Oral Implants Res*. 2005;16(6):639-44.
9. Geštakovski D. The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. *Quintessence Int Berl Ger 1985*. 2019;50:712-9.
10. Geštakovski D. The injectable composite resin technique: biocopy of a natural tooth – advantages of digital planning. *Int J Esthet Dent*. 2021;16:280-99.

11. Giannetti L, Apponi R. Combined orthodontic and restorative minimally invasive approach to diastema and morphology management in the esthetic area. Clinical multidisciplinary case report with 3-Year Follow-Up. Case Rep Dent. 2020.
12. Hosaka K, Tichy A, Motoyama Y, Mizutani K, Lai W-J, Kanno Z, et al. Post-orthodontic recontouring of anterior teeth using composite injection technique with a digital workflow. J Esthet Restor Dent. 2020;32(7):638-44.
13. Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, et al. The international caries detection and assessment system (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. Community Dent Oral Epidemiol. 2007;35(3):170-8.
14. Joniot SB, Grégoire GL, Authier AM, Roques YM. Three-dimensional optical profilometry analysis of surface states obtained after finishing sequences for three composite resins. Oper Dent. 2000;25(4):311-5.
15. Kahler B. Present status and future directions – Managing discoloured teeth. Int Endod J. 2022;55(Suppl 4):922-50.
16. Kaidonis JA. Oral diagnosis and treatment planning: part 4. Non-carious tooth surface loss and assessment of risk. Br Dent J. 2012;213(4):155-61.
17. Kanchan T, Machado M, Rao A, Krishan K, Garg AK. Enamel hypoplasia and its role in identification of individuals: A review of literature. Indian J Dent. 2015;6(2):99-102.
18. Khorshidi H, Moaddeli MR, Golkari A, Heidari H, Raoofi S. The prevalence of pathologic tooth migration with respect to the severity of periodontitis. J Int Soc Prev Community Dent. 2016;6(Suppl 2):S122-5.
19. Kouri V, Moldovani D, Papazoglou E. Accuracy of direct composite veneers via injectable resin composite and silicone matrices in comparison to diagnostic wax-up. J Funct Biomater. 2023;14(1):32.
20. de La Dure-Molla M, Philippe Fournier B, Berdal A. Isolated dentinogenesis imperfecta and dentin dysplasia: revision of the classification. Eur J Hum Genet. 2015;23(4):445-51.

21. Lanza A, Di Francesco F, De Marco G, Femiano F, Itró A. Clinical application of the PES/WES index on natural teeth: case report and literature review. *Case Rep Dent*. 2017.
22. Magne P, Belser U. *Dentisterie restauratrice biomimétique*. Berlin Chicago Paris : Quintessence publishing; 2022.
23. Marc Semper. Classification et enregistrement des traumatismes alvéolo-dentaires. *Paru Dans Réal Clin*. 2021;(n°3):(page 176-182).
24. Omar D, Duarte C. The application of parameters for comprehensive smile esthetics by digital smile design programs: A review of literature. *Saudi Dent J*. 2018;30(1):7-12.
25. Pitts N, Ekstrand K, The ICDAS Foundation. International caries detection and assessment system (ICDAS) and its international caries classification and management system (ICCMS) – methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2013;41(1).
26. Sabandal MMI, Dammaschke T, Schäfer E. Restorative treatment in a case of amelogenesis imperfecta and 9-year follow-up: a case report. *Head Face Med*. 2020;16:28.
27. Shaalan OO, Abou-Auf E, El Zoghby AF. Clinical evaluation of flowable resin composite versus conventional resin composite in carious and noncarious lesions: Systematic review and meta-analysis. *J Conserv Dent JCD*. 2017;20(6):380-5.
28. Siddiqui A, Braden M, Patel MP, Parker S. An experimental and theoretical study of the effect of sample thickness on the Shore hardness of elastomers. *Dent Mater*. 2010;26(6):560-4.
29. Simon H, Magne P. Clinically based diagnostic wax-up for optimal esthetics: the diagnostic mock-up. *J Calif Dent Assoc*. 2008;36(5):355-62.
30. Smail-Faugeron V, Picou Rollin J, Muller Bolla M, Courson F. management of non-syndromic dens evaginatus affecting permanent maxillary central incisors: a systematic review. *BMJ Case Rep*. 2016.

31. Smail-Faugeron V, Terradot J, Muller Bolla M, Courson F. Management of non-syndromic double tooth affecting permanent maxillary central incisors: a systematic review. *BMJ Case Rep.* 2016.
32. Sumino N, Tsubota K, Takamizawa T, Shiratsuchi K, Miyazaki M, Latta MA. Comparison of the wear and flexural characteristics of flowable resin composites for posterior lesions. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(3-4):820-7.
33. Terry D, Powers J. Using injectable resin composite: part one. *International dentistry - African edition* 2014;5(1):52-62.
34. Terry DA. Restoring with flowables. Hanover Park, IL: Quintessence Publishing Co, Inc; 2017.
35. Terry DA, Geller W. Esthetic and restorative dentistry: material selection and technique. 3. edition. Berlin Barcelona Chicago: Quintessence Publishing; 2018.
36. Terry DA, Powers JM, Blatz MB. The injection resin technique: a novel concept for developing esthetic restorations. *International dentistry - African edition.* 2022;12(2):1-15.
37. Terry Douglas, Powers John. Using injectable resin composite: part two. *International dentistry - African* 2014;5(1):64-72.
38. Torres CRG, Rêgo HMC, Perote LCCC, Santos LFTF, Kamozaiki MBB, Gutierrez NC, et al. A split-mouth randomized clinical trial of conventional and heavy flowable composites in class II restorations. *J Dent.* 2014;42(7):793-9.
39. Vanini L, Mangani FM. Determination and communication of color using the five color dimensions of teeth. *Aesthetic dent. Aesthetic dent. Dent* 2001;13(1):19-26
40. Wang Q, Meng Q, Meng J. Minimally invasive esthetic management of dental fluorosis: a case report. *J Int Med Res.* 2020;48(10).
41. Ypei Gia NR, Sampaio CS, Higashi C, Sakamoto A, Hirata R. The injectable resin composite restorative technique: A case report. *J Esthet Restor Dent.* 2021;33(3):404-14.

42. Clinical evaluation of a nanohybrid and a flowable resin composite in non-carious Cervical Lesions: 24-Month Results. J Adhes Dent. 2012;14(5):485-92.
43. Belser UC. Esthetics checklist for the fixed prosthesis. Part II : biscuit-bake try-in. In : Schärer P, Rinn LA, Kopp FR (eds): Esthetic guidelines for restorative dentistry. Chicago: Quintessence 1982 : 188-192.
44. Tirlet G, Attal JP. Le Gradient Thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. Info Dent 2009;25(41/42):61-8.

Comparaison de la précision des restaurations dentaires par composites injectés effectués par gouttières en silicone moulées *versus* gouttières CFAO : une étude pilote.
Théodore OWCZARSKI. - p.55 ; ill. 28 ; réf. 44.

Domaines : Dentisterie restauratrice

Mots clés Libres : Composite injecté ; Gouttière CFAO

Résumé de la thèse en français

Contexte : la démocratisation du flux numérique en chirurgie dentaire permet de réaliser des composites injectés temporaires par des gouttières d'injection conçues et fabriquées par ordinateur. Cependant, il n'existe aucune donnée dans la littérature décrivant la précision des restaurations réalisées par cette nouvelle technique qui doit être investiguée et comparée avec la méthode conventionnelle de coulage d'une gouttière en silicone.

Objectif : le but de cette étude pilote est de valider un protocole expérimental pour comparer la précision des composites réalisés par gouttière d'injection CFAO et gouttière conventionnelle.

Matériels et méthodes : quinze modèles préopératoires et de wax-up de dents riziformes de 12 et 22 ont été développés. La fidélité des modèles préopératoires a été évaluée en comparant un scanner des modèles avec les données du modèle de référence (Geomagic Control X). Deux gouttières CFAO ont été fabriquées (épaisseur : 2 et 4 mm) en résine flexible et une gouttière conventionnelle a été réalisée par coulage de silicone transparent. Les composites ont été injectés puis les modèles ont été scannés et comparés avec le wax-up de référence (écart moyen : mésial, distal, vestibulaire, palatin, bord libre) par le logiciel de comparaison.

Résultats et conclusion : les modèles préopératoires étaient fidèles et reproductibles entre eux. Les composites injectés par la gouttière CFAO de 2 mm ont provoqué des déformations à l'origine d'une forte variabilité des restaurations. L'écart moyen des composites avec le wax-up de référence était comparable avec les données de la littérature. Les gouttières CFAO de 4 mm doivent être privilégiées.

JURY :

Président : **Monsieur le Professeur Etienne DEVEAUX**

Assesseurs : **Monsieur le Professeur Lieven ROBBERECHT**

Monsieur le Docteur Corentin DENIS

Monsieur le Docteur Nathan DELEMOTTE