

UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2020

2020 TOU3 3063

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

Thibaut CHAUCHARD

le 12 novembre 2020

**EMPREINTE REBASEE POUR INLAY-CORE :
PROTOCOLE ET FAISABILITE**

Directeurs de thèse : Dr Damien OSTROWSKI et Dr Paul MONSARRAT

JURY

Président : Professeur Philippe KEMOUN

1^{er} assesseur : Docteur Delphine MARET-COMTESSE

2^{ème} assesseur : Docteur Paul MONSARRAT

3^{ème} assesseur : Docteur Damien OSTROWSKI





Faculté de Chirurgie Dentaire

→ DIRECTION

DOYEN

M. Philippe POMAR

ASSESEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONOT
Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

CHARGÉS DE MISSION

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)
M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)
M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)
M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)
M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

DIRECTRICE ADMINISTRATIVE

Mme Muriel VERDAGUER

→ PERSONNEL ENSEIGNANT

→ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

M. Jean LAGARRIGUE +
M. Jean-Philippe LODTER +
M. Gérard PALOUDIER
M. Michel SIXOU
M. Henri SOULET

→ ÉMÉRITAT

M. Damien DURAN
Mme Geneviève GRÉGOIRE
M. Gérard PALOUDIER

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

56.01 ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE et ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE (Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER)

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE
Maîtres de Conférences : Mme Emmanuelle NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY
Assistants : Mme Alice BROUTIN, Mme Marion GUY-VERGER
Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE, Mme. Chiara CECCHIN-ALBERTONI

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, M. Maxime ROTENBERG
Assistants : Mme Isabelle ARAGON, Mme Anaïs DIVOL,

56.02 PRÉVENTION, ÉPIDÉMIOLOGIE, ÉCONOMIE DE LA SANTÉ, ODONTOLOGIE LÉGALE (Mme NABET Catherine)

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL
Maître de Conférences : M. VERGNES Jean-Noël
Assistant : M. Julien ROSENZWEIG
Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, Mme FOURNIER Géromine,
M. Fabien BERLIOZ

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Bruno COURTOIS)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : M. Pierre BARTHET, Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN, Mme Alexia VINEL
Assistants : Mme. Charlotte THOMAS, M. Joffrey DURAN
Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT

CHIRURGIE ORALE

Professeur d'Université : Mme Sarah COUSTY
Maîtres de Conférences : M. Philippe CAMPAN, M. Bruno COURTOIS
Assistants : Mme Léonore COSTA-MENDES, M. Clément CAMBRONNE
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY,
M. Jérôme SALEFRANQUE ,

BIOLOGIE ORALE

Professeur d'Université : M. Philippe KEMOUN
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Assistants : M. Antoine TRIGALOU, Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme. Cécile BLANC
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Maxime LUIS

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Serge ARMAND)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants : Mme Pauline PECQUEUR, M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE
M. Dorian BONNAFOUS, Mme. Manon SAUCOURT
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Serge ARMAND, M. Philippe POMAR
Maîtres de Conférences : M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT
Assistants : M. Victor EMONET-DENAND, M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION,
Mme Caroline DE BATAILLE, Mme Margaux BROUTIN
Assistant Associé : M. Antoine GALIBOURG,
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Laurent GINESTE, M. Olivier LE GAC, M. Louis Philippe GAYRARD, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE,
M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONQOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT
Assistants : M. Thibault CANCEILL, M. Julien DELRIEU
Adjoints d'Enseignement : M. Yasin AHMED, Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET

Mise à jour pour le 05 Octobre 2020

REMERCIEMENTS :

À **mes parents**, qui m'ont toujours soutenu et nous ont fait passer avant tout le reste avec mes frères, si j'en suis là aujourd'hui c'est grâce à vous. Merci pour votre amour.

À ma mère pour son investissement dans mes études et son perfectionnisme.

À mon père qui m'a donné le goût de l'effort et sa volonté de ne jamais rien lâcher.

À **mes grands-parents**, c'est une chance de pouvoir partager tant de choses avec vous et profiter de votre expérience et de votre disponibilité. J'espère pouvoir vous voir rapidement autour de bons cannellonis et d'une belote.

À mes frères, pour notre complicité et nos activités en tous genres (y compris manœuvres de chantiers). **Julien**, 1^{er} partenaire de sport en tous genres, pro de la mécanique et de la rhétorique, ta personnalité ne laisse jamais statique. **Gauthier**, notre décalage m'a permis de te voir grandir, je suis fier de ce que tu deviens et que ça continue (ça s'arrêtera à 1,87 par contre, désolé mais c'est suffisant pour un 3^{ème} ligne international)!

Je profite de cette occasion pour vous le dire, je vous aime.

À **Laurie**, il ne passe pas un moment sans que je ne pense à toi. Ton amour absolu est mon moteur et me pousse à être meilleur chaque jour. On a déjà vécu un confinement tous les deux, et il me tarde de vivre le deuxième en ta compagnie. Je t'aime fort.

À ta famille, merci de m'avoir accueilli à bras ouverts. **Mélanie, Noa, Robin** big up !

À **Jeanne**, bibi, ton génie n'a d'égal que ta bonne humeur. Tu es un peu la petite sœur que je n'ai jamais eue. Merci pour tous ces souvenirs et pour les prochains!

À mes amis d'enfance, **Elliot** et son hiphippopotame, **Guillaume** l'activiste au grand cœur, **Hugo** le bronzé au claxon, **Sami** mon parisien préféré, **Sid** le baroudeur, **Rom** le virtuose. Je suis fier de m'être construit à vos côtés et pourvu que les 20 prochaines années soient aussi belles que celles qu'on vient de passer!

Mon binôme, **Maxime**, mon irmão, tu m'as vendu du rêve pendant 3 années, ta rigueur et ta soif d'apprendre ont été un moteur. Merci pour tout ! Il va quand même falloir que je vienne te montrer comment on fait pour mettre le maillot à pois en VTT dans le Prat d'Albis !

Aux CDL pour ces voyages, finesses et débats engagés. Pour **Dave** et ton œuvre, l'espagnol impec de **Francis, PA** l'esthète, l'organisation de **Marie C**, les chansons de **Marie L**.

À **Claire** la best RV, **Paulette** la clubbeuse et **Soso** l'herboriste.

À la bodeg, de **Bacrie, JB, Jéjé, Lenaïc, Piberthe, Paulo, Vivi à Ptit Louis, Rom, Jpep, Antoni** et les plus jeunes **Cricket, Dine, Maz, Pitout** et tous ceux que je ne peux pas citer. Ce fut un régal de servir à vos côtés et faire toutes ces choses dont on se rappellera longtemps !

À la DREAM, **Aurel, Bocci**, et tous ceux qui ont fait un jour partie de cette grande famille, ce fut une joie de se mêler à tous ces en-avants et touches pas droites. Merci à **Vincent BB** pour ces 2 ans magnifiques d'entraînements structurés.

À **Louise, Joa** et **Mayssa**, pour Auch, les randonnées, les soirées et nos pique-niques improvisés !

À **Adeline A, Audrey S** la 93, **Bruno G** mon Brubru, **Marian** le neurologue nancéen, **Marion C, Jas, Sophie B** pour ton soutien, les copains de fac rencontrés lors des événements, des séminaires nationaux au ski (**Cec, Clo...**), de férias bayonnaises et j'en passe.

Merci, ces années d'études n'ont été que du bonheur.

À la **RunningTz** qui m'a appris qu'on pouvait courir autrement que derrière un ballon

Merci à **Chloé, Francis** et **Mathieu** pour leur aide dans ce travail.

Je tiens à remercier Mickaël CHARDAVOINE et toute son équipe du Laboratoire de la Save à Saint-Paul sur Save pour leur précieuse aide pour la numérisation des empreintes nécessaire à cette étude.

À notre président de thèse,

Monsieur le Professeur KEMOUN Philippe

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Habilitation à diriger les recherches (HDR)
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous remercions de l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce jury de thèse.

Nous avons pu apprécier tout au long de notre cursus la justesse et la qualité de votre enseignement, ainsi que de vos précieux conseils et aide lors de notre activité clinique pour nous permettre de progresser au mieux en pédodontie mais aussi en chirurgie.

Veillez trouver ici le témoignage de nos remerciements les plus sincères et de notre sympathie.

À notre jury de thèse,

Madame le Docteur MARET-COMTESSE Delphine

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Doctorat de l'Université de Toulouse,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D,
- Master 2 Recherche Epidémiologie Clinique,
- CES d'Odontologie Légale,
- Diplôme Universitaire de Recherche Clinique en Odontologie (DURCO),
- Enseignant-chercheur, Laboratoire Anthropologie Moléculaire et Imagerie de Synthèse (AMIS) CNRS,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.
- Habilitation à diriger les recherches (HDR)

Nous sommes très reconnaissants de votre présence à notre jury de thèse.

Vous avez très spontanément accepté de juger notre travail et nous vous en remercions infiniment. Votre bienveillance nous a touché pendant nos vacances de clinique à l'hotel dieu.

Veillez trouver ici l'expression de notre respect et de notre gratitude.

À notre co-directeur et jury de thèse,

Monsieur le Docteur MONSARRAT Paul

- Maître de Conférences des Universités - Praticien Hospitalier en Odontologie,
- Master 1 Recherche : Biosanté et Méthodes d'Analyse et de Gestion en Santé Publique,
- Master 2 Recherche : mention : Biologie, santé; spécialité : Physiopathologie,
- Lauréat de la faculté de Médecine Rangueil et de Chirurgie Dentaire de l'Université Paul Sabatier,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier - Spécialité Physiopathologie,
- Diplôme Universitaire d'Imagerie 3D maxillo-faciale,
- CES Biomatériaux en Odontologie.
- Diplôme universitaire de Recherche Clinique en Odontologie

Nous sommes ravi d'avoir pu vous compter comme co-directeur de thèse.

Votre énergie, votre implication de chaque instant à la faculté et votre enthousiasme nous ont suivi tout au long de nos études.

Nous tenons également à vous remercier pour vos conseils avisés et votre aide dans la méthodologie d'analyse des données de cette thèse.

Veillez trouver ici le témoignage de notre plus grande estime et de nos meilleurs sentiments.

À notre co-directeur et jury de thèse,

Monsieur le Docteur OSTROWSKI DAMIEN

- Ancien Assistant Hospitalo-Universitaire d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire
- CES de Chirurgie Dentaire : Biomatériaux en Odontologie
- CES de Chirurgie Dentaire : O C E

Nous vous remercions d'avoir accepté de devenir notre directeur de thèse et nous vous faisons part de notre profonde reconnaissance pour nous avoir proposé un sujet si intéressant.

Votre passion pour l'art dentaire et votre pédagogie est inspirante et nous ont permis de progresser dans de nombreux domaines différents grâce au précieux conseils que vous nous avez prodigués.

Nous sommes honorés d'avoir pu débiter notre activité libérale dans le même cabinet que vous et avoir pu y réaliser notre stage actif.

Nous vous remercions pour votre patience, votre bienveillance et votre disponibilité pour l'encadrement de ce travail.

Veillez trouver ici l'expression de notre reconnaissance, plus grand respect et amitié.

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS :	12
INTRODUCTION.....	13
1.1 LES TECHNIQUES D'EMPREINTES.....	15
1.1.1. CAHIER DES CHARGES.....	15
1.1.2. CLASSIFICATIONS DES DIFFERENTS MATERIAUX A EMPREINTE.....	16
1.2. PROPRIETES DES MATERIAUX.....	18
1.3. MATERIAUX UTILISES EN PROTHESE FIXEE.....	28
1.3.1. SILICONE PAR CONDENSATION.....	28
1.3.2. SILICONE PAR ADDITION.....	29
1.4. TECHNIQUES D'EMPREINTES.....	32
1.4.1. DOUBLE MELANGE.....	32
1.4.1.1. INDICATIONS(20).....	32
1.4.1.2. PROTOCOLE CLINIQUE (2).....	33
1.4.1.3. AVANTAGES.....	33
1.4.1.4. INCONVENIENTS.....	34
1.4.2. WASH TECHNIQUE OU TECHNIQUE DU LAVIS.....	34
1.4.2.1. INDICATIONS.....	34
1.4.2.2. PROTOCOLE CLINIQUE (2).....	34
1.4.2.3. AVANTAGES.....	36
1.4.2.4. INCONVENIENTS.....	36
2. COMPARAISON D'UNE TECHNIQUE EN UN TEMPS ET EN DEUX TEMPS POUR L'EMPREINTE D'INLAY-CORE.....	37
2.1. PROTOCOLE MODIFIE DE LA WASH TECHNIQUE POUR INLAY-CORE.....	37
2.1.1. PROTOCOLE.....	37
2.1.2. CRITIQUE DU PROTOCOLE.....	40
2.2. MATERIEL ET METHODE.....	41
2.2.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	41
2.2.2. REALISATION DES EMPREINTES.....	42
2.2.3. NUMERISATION ET TRAITEMENT DES FICHIERS.....	44
2.2.4. RECALAGE DES MODELES.....	45
2.2.5. TRAITEMENT DES DONNEES.....	48
3. RESULTATS.....	51
4. DISCUSSION.....	60
BIBLIOGRAPHIE :.....	66

ABREVIATIONS :

CE : Capture d'écran

DM : Double Mélange

MAE : Mean Absolute Error (en français : Erreur Moyenne Absolue)

ME : Mean Error (en français : Erreur Moyenne)

MSE : Mean Squared Error (en français : Erreur Quadratique Moyenne)

PEI : Porte-Empreinte Individuel

PE : PolyEther ou Porte-Empreinte

PS : Polysulfures

STL : Standard Tessellation Language

U.A : Unité Arbitraire

VPS : Vinyl PolySiloxane

WT : Wash Technique

INTRODUCTION

Aujourd'hui malgré l'essor du numérique, la prise d'empreinte pour les inlay-cores est faite par une empreinte physique dans de nombreux cabinets.

Ainsi, lorsqu'il est nécessaire de réaliser l'enregistrement des logements, la technique de choix est le double mélange qui consiste à mélanger simultanément un silicone putty (haute viscosité) qui sert de base et un silicone light (basse viscosité, haute fluidité) qui est plus précis.

Ces 2 matériaux prennent en même temps (1 temps, 2 viscosités) en bouche après que l'on ait introduit le putty dans le porte-empreinte, le light en bouche et mis en place le tenon pour le logement. Vu le nombre d'étape à réaliser simultanément cette technique requiert une bonne coordination praticien/assistante et un peu d'expérience.

Il arrive hélas régulièrement que les empreintes ne soient pas utilisables en raison du nombre de risques d'échecs possibles (tirages, bulles...)

Devant ce constat d'échec, certains praticiens se sont tournés vers une technique habituellement déconseillée pour de telles indications (empreinte inlay-core) mais apportant des résultats probants cliniquement, validés lors de la pose des inlay-cores en bouche. J'ai nommé, la technique d'empreinte rebasée, fréquemment appelée par sa traduction anglaise : la wash-technique. C'est une empreinte en 2 temps (2 temps, 2 viscosités) qui correspond à une 1^{ère} empreinte avec le silicone putty, qui fera office de PEI très précis rebasé après la réalisation d'événements (plusieurs techniques sont à disposition) avec le silicone light permettant une facilité de repositionnement. Cette technique a l'avantage de ne nécessiter qu'un travail à 2 mains même si cela prend plus de temps. Elle est habituellement déconseillée car les auteurs craignent un phénomène de compression important du fait de l'aspect cavitaire de l'empreinte qui reprendrait une densité normale une fois l'empreinte retirée (1), aboutissant à une prothèse (inlay-core ici) avec des dimensions surévaluées entraînant une mauvaise adaptation en bouche.

Le but de ce travail sera donc de comparer ces deux techniques dans la réalisation d'empreinte pour inlay-core.

Dans une première partie, nous étudierons les matériaux requis et décriront les protocoles cliniques des deux techniques. Le but sera de créer un protocole pour adapter la wash-technique à l'empreinte cavitaire.

La seconde partie sera consacrée à la faisabilité de ce protocole. Les empreintes réalisées en double mélange ou en wash technique seront numérisées grâce à un scanner de laboratoire puis les fichiers STL seront superposés pour étudier la justesse et la fidélité de ces deux techniques.

1.1 Les Techniques d'empreintes

1.1.1. Cahier des charges

Pour savoir quel matériau utiliser, il faut connaître les qualités d'une empreinte réussie et quelles sont les qualités du matériau pour arriver à cet objectif.

Les critères auxquels une empreinte réussie doit répondre sont les suivants (2) :

- précision
- pas de tirage

Définition tirage : Déformation de la surface de l'empreinte, qui résulte d'un mauvais étalement du matériau sur les tissus à enregistrer. Ce défaut nuit à la précision de reproduction des préparations. (3)

- épaisseur régulière du light
- absence de décollement des matériaux d'empreinte du porte-empreinte
- absence de fragment de matériau arraché qui aurait été préjudiciable à la réinsertion de l'empreinte

Les qualités nécessaires pour un matériau d'empreinte idéal sont (4) (5) (6) :

- Facilité de manipulation ;
- Temps de travail long, mais temps de prise en bouche court ;
- Caractère hydrophile et tolérance à l'humidité ;
- Précision de reproduction des détails ;
- Stabilité dimensionnelle immédiate et différée ;
- Résistance au déchirement ;
- Désinfection possible ;
- Compatibilité avec les matériaux de reproduction ;
- Coût raisonnable.

Il convient d'adapter le matériau d'empreinte à chaque situation clinique car aucun ne peut remplir ce cahier des charges entièrement.

1.1.2. Classifications des différents matériaux à empreinte

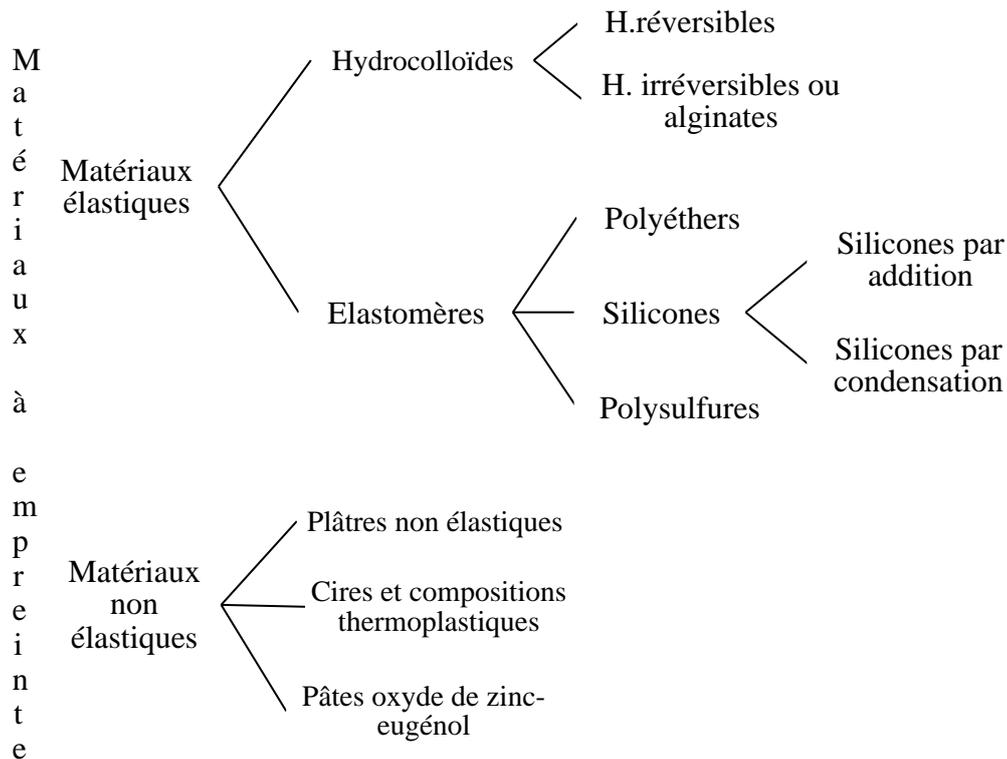


Figure 1: (7) WJ O'Brien modifié. Dental materials and their selection, Quintessence Publishing CO., 1997: 421p.

Il existe pléthore de matériaux à empreinte (figure 1), il est donc crucial d'adapter le matériau à la situation clinique rencontrée. Le choix sera déterminé par la procédure clinique, le comportement du matériau et les conditions de traitement de l'empreinte en 1^{er} lieu, sans oublier la précision dimensionnelle et la fidélité d'enregistrement des états de surface adaptées à un cas précis.

Selon O'Brien (7), deux grandes classes de matériaux à empreinte définis selon leurs comportements peuvent être choisis pour répondre à ces objectifs : les matériaux élastiques et les inélastiques (ou rigides).

Les matériaux inélastiques/rigides sont les plus anciennement utilisés mais répondent à des critères permettant seulement leur maniement en prothèse adjointe souvent pour l'enregistrement de zones édentées grâce à leur absence de déformation (plâtre), faible propriété mécanique (pâte oxyde de zinc eugénol) ou leur haute viscosité amenant une imprécision (compositions thermoplastiques, aujourd'hui peu utilisées).

Les matériaux élastiques sont divisés en 2 catégories bien distinctes, les hydrocolloïdes et les élastomères.

Les hydrocolloïdes, en général, ont une résistance au déchirement qui est relativement faible, en comparaison des élastomères qui eux bénéficient d'une structure composée de liaisons covalentes et ioniques qui sont des liaisons chimiques fortes, ce qui ne leur permettait, dans le cas des réversibles, de n'enregistrer que les limites en prothèse conjointe supra-gingivales et avec de faibles contre-dépouilles.

Pour ce qui est des **polyéthers**, ils sont indiqués en prothèse fixée pour les enregistrements de préparations cavitaires et périphériques depuis les années 1970 mais ont progressivement laissé leur place aux élastomères de silicones en raison d'une hydrophilie plus importante (les deux sont hydrophobes). Cette propriété permet une meilleure reproductibilité des surfaces mais a pour inconvénient une tendance à l'absorption des liquides obligeant une conservation dans un endroit sec (8). Actuellement ils sont plutôt utilisés pour réaliser des empreintes implantaires et peuvent l'être également pour déterminer le joint périphérique des empreintes secondaires en prothèse adjointe. Les élastomères de **silicone**, également à disposition depuis les années 1970, sont utilisés en prothèse fixée. Ils ont un faible module d'élasticité (à température ambiante) et supportent sans dommage des allongements réversibles. Du fait de leurs différentes déclinaisons, leur permettant de s'adapter à de nombreuses situations cliniques, les élastomères de silicone sont les principaux matériaux utilisés en prothèse conjointe actuellement. Nous allons nous y intéresser plus en détails.

Propriétés	VPS : silicone par addition	Silicone par condensation	Polyéthers	Polysulfures
Temps de travail	Court à modéré	Court	Court	Modéré à long
Temps de prise	Court à modéré	Court à modéré	Court	Modéré à long
Contraction de prise	Très faible	Modérée à élevée	Faible	Elevée
Récupération élastique	Très élevée	Elevée	Elevée	Modérée
Flexibilité lors d'une contrainte	Faible à modérée	Modérée	Faible à modérée	Elevée
Résistance au déchirement	Faible à modérée	Faible à modérée	Modérée	Modérée à élevée
Mouillabilité avec le plâtre	Bonne à très bonne	Pauvre	Très bonne	Modérée
Reproduction des détails	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente

Tableau 1: Récapitulatif propriétés matériaux à empreintes, adaptés de Powers J, Wataha J, Impression materials (9)

1.2. Propriétés des matériaux

Pour répondre à ce cahier des charges, nous allons parler des propriétés idéales d'un matériau d'empreinte. Les différences de propriétés permettent le choix de matériaux spécifiques dans des situations cliniques spécifiques. (5)

- La précision :

C'est la caractéristique la plus importante pour un matériau d'empreinte et la plus évidente. Le matériau doit reproduire avec précision toute la surface sur laquelle le dispositif à fabriquer s'adaptera. Cela signifie que les détails à petite échelle et la précision dimensionnelle à plus grande échelle doivent être atteints, en particulier sur toute la surface de la région reproduite, en d'autres termes : aucune distorsion. (10)

L'exactitude d'une empreinte dentaire est déterminée par deux facteurs : la justesse et la fidélité (ISO 5725-1) (**figure 2**). (11) La justesse décrit l'écart entre la méthode d'empreinte testée et la géométrie originale. (12) La fidélité indique les écarts entre les empreintes au sein d'un groupe de test. (13) La fidélité et la justesse, ensemble, décrivent tous les aspects d'une méthode d'empreinte spécifique.

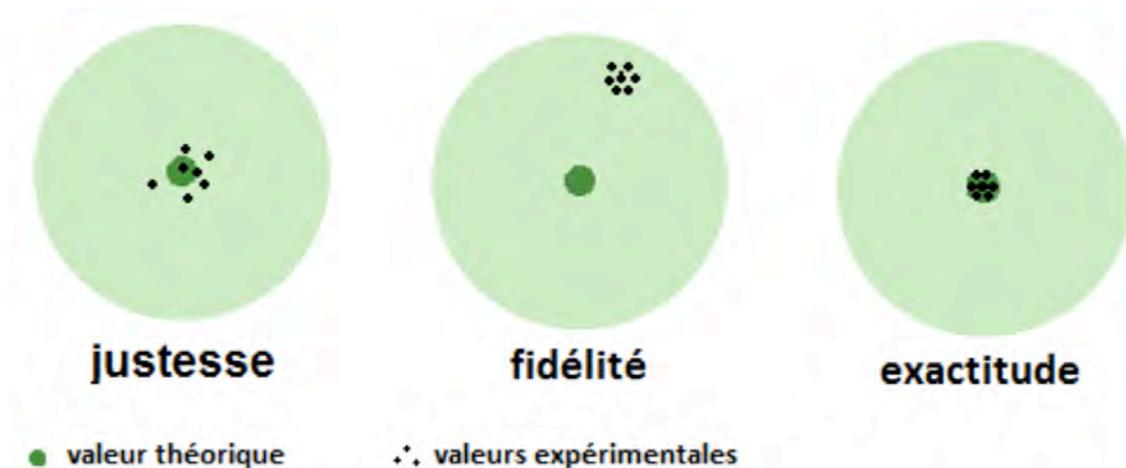


Figure 2: Schéma explicatif de la justesse, de la fidélité et de l'exactitude (14)

Cependant, nous utilisons une définition appliquée en ingénierie et en métrologie, définissant la justesse comme "la capacité d'une mesure à correspondre à la valeur réelle", un terme utilisé de manière similaire à la "justesse" de la norme ISO 5725. La fidélité a été définie comme "l'aptitude d'une mesure à être reproduite de manière cohérente" et a une signification comparable à la fidélité utilisée par la norme ISO 5725. (15)

En général, plus la viscosité du matériau d'impression est faible, mieux il enregistre les détails fins. Ainsi les silicones lourds, en général, ne peuvent pas reproduire les détails fins (25 μm) et enregistrent des détails autour de 75 μm . (5)

Un volume de charge plus important entraîne une élasticité et une fluidité moindres, ce qui se traduit par une précision moindre. (16)

- La récupération élastique :

L'élasticité est la capacité à supporter une déformation sans changement permanent de taille ou de forme. (7)

L'importance de cette propriété est due à la morphologie habituelle des structures buccales.

Le diamètre de la dent au niveau du collet est plus petit qu'au niveau du tiers occlusal et présente ainsi des "contre-dépouilles". Ce qui signifie que, pour enlever une empreinte le matériau doit se déformer, s'étirer, pour permettre à la couronne de la dent de glisser. Il ne

doit s'agir que d'une déformation temporaire, de sorte que les dimensions d'origine soient parfaitement récupérées.

La limite d'élasticité détermine la capacité du matériau d'empreinte à résister aux contraintes sans déformation permanente.

La résistance à la limite d'élasticité indique la quantité de contre-dépouille que le matériau d'empreinte peut surmonter sans déformation élastique permanente.

L'énergie de rupture indique la résistance à la déchirure du matériau d'empreinte. (17)

Propriétés mécaniques cliniquement pertinentes des matériaux d'empreinte élastomères			
Matériau	Limite d'élasticité	Résistance à la limite d'élasticité	Energie de rupture
Vinyl polysiloxane	+	++	-
Polyéthers	++	+	+
Polysulfides	-	-	++

Tableau 2: D'après Chai et al (17), " Clinically relevant mechanical properties of elastomeric impression materials"

Le vinyl polysiloxane présente la meilleure récupération élastique, suivi du polyéther et du polysulfure. (5)

Le matériau d'empreinte idéal doit présenter une énergie de rupture élevée ainsi qu'une récupération élastique adéquate (**tableau 2**). Cependant, l'énergie de rupture élevée peut ne pas être un avantage si sa valeur est supérieure à la limite d'élasticité du matériau. Dans ce cas, l'empreinte peut être exempte de déchirure mais déformée, ce qui entraînera à nouveau un mauvais ajustement des bords de la couronne. (18)

- Le module d'élasticité :

Le module d'élasticité caractérise la rigidité du matériau. C'est le rapport entre la contrainte et la déformation. (7) Dans un premier temps, le matériau subit une déformation qui est réversible puis si on augmente les contraintes au-delà de la limite élastique, la déformation sera irréversible.

Le module d'élasticité est amélioré en augmentant la charge dans le produit de remplissage. En effet, un élastomère pur a un trop faible module d'élasticité et se déformerait en s'affaissant sous son propre poids. (10)

Le module d'élasticité ne doit pas, non plus, être trop élevé car si la charge nécessaire pour enlever l'empreinte est supérieure à l'attache parodontale de la dent (ou s'en approche) nous risquons de réaliser une avulsion pendant l'étape d'empreinte.

Il est donc intéressant d'appliquer une contrainte suffisante pour qu'il y ait rupture de certaines chaînes sans qu'aucune déformation plastique ou rupture évidente ne soit observable, ce qui entraîne une réduction du module d'élasticité. C'est ce qu'on appelle le relâchement des contraintes.

Le retrait de l'empreinte doit être fait d'un seul geste, et dans le sens correct de moindre résistance. En effet, au cours de plusieurs tentatives, en faisant levier d'abord d'une manière puis d'une autre, le matériau « se souvient » du niveau de contrainte atteint et se déforme d'autant plus vite, c'est l'effet Mullins. Le risque de déformation des parties critiques du matériau (marges de préparations, sections inter-proximales) sous l'effet des forces de démoulage du modèle est donc d'autant plus grand. (10)

- Les propriétés rhéologiques et la thixotropie :

La rhéologie est une branche de la physique qui étudie l'écoulement ou la déformation des corps sous l'effet des contraintes qui leur sont appliquées, compte tenu de la vitesse d'application de ces contraintes ou plus généralement de leurs variations au cours du temps. (19)

La thixotropie, quant à elle, est la propriété d'un matériau à s'étaler sous l'augmentation des contraintes.

La viscosité (résistance qu'oppose un fluide à son écoulement) est fortement liée à cette propriété. En effet, elle influe sur la vitesse d'étalement, mais pas sur la mouillabilité. Ainsi lorsque la viscosité diminue, la vitesse d'étalement augmente mais la compressivité diminue, et donc la thixotropie aussi. (20)

Un matériau sera d'autant plus thixotrope qu'il aura la capacité à s'écouler sous la contrainte.

Les matériaux d'empreinte doivent donc s'écouler facilement dans les moindres détails des préparations de la cavité et capturer avec précision les sillons, les petites cavités et les détails des marges cervicales.

Deux règles empiriques concernant les matériaux de viscosité différente sont (1) plus la viscosité est faible, meilleure est la reproduction des détails fins et (2) plus la viscosité est faible, plus le retrait de polymérisation est important pendant la réaction de prise. Ainsi, la méthode optimale de prise d'empreinte consiste à utiliser le moins possible de matériau à faible viscosité pour capturer les détails fins de la marge préparée, des rainures, des formes, etc. Le matériau à forte viscosité aide à pousser le matériau à faible viscosité dans le sillon gingival et entraîne une distorsion minimale due au retrait de polymérisation. (5)

C'est pourquoi les produits commerciaux proposent des matériaux pour corps légers ou des seringues à cette fin. Ils sont utilisés avec des matériaux pour corps lourds ou des porte-empreintes afin de donner plus de rigidité à l'empreinte et ainsi lors de son utilisation, le lourd va mettre en contrainte le matériau de plus faible viscosité, pour qu'il s'insère dans le sillon gingival. (5)

Les industriels modifient la viscosité en changeant la quantité de charge de silice, ce qui produit soit un lourd (putty), soit un matériau light moins visqueux. (6)

- La mouillabilité :

La mouillabilité est une mesure de l'affinité d'un liquide pour un solide comme indiqué par l'étalement d'une goutte.

La forme des gouttes est identifiée par l'angle de contact θ , par les angles à travers les gouttes délimitées par la surface solide, et par une droite passant à travers la périphérie de la goutte et tangente à la surface du liquide.

Si l'angle de contact est faible, comme dans la partie gauche de la figure, le solide est facilement mouillé par le liquide (hydrophile si le liquide est de l'eau). Si l'angle de contact est supérieur à 90° , comme à droite de la figure, le liquide mouille mal (hydrophobe si le liquide est de l'eau) (**figure 3**). (9)

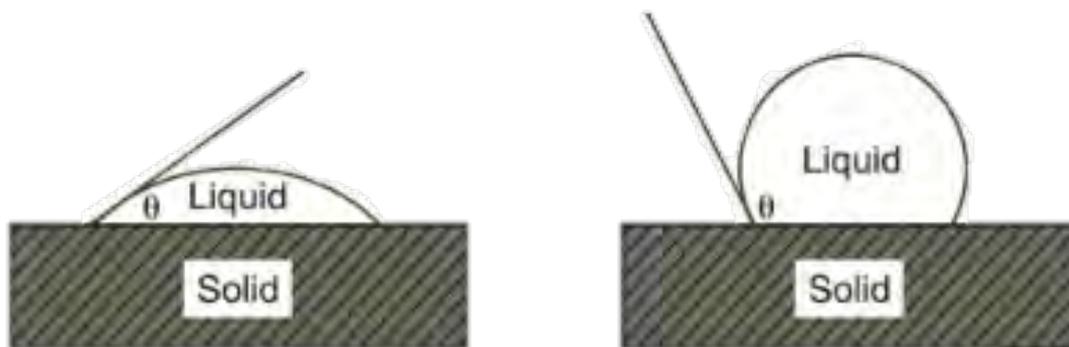


Figure 3: Extrait d'un article de O'Brien WJ et al (7)

**Gauche: Bonne mouillabilité d'un solide par un liquide formant un faible angle de contact;
Droite: Faible mouillabilité par un liquide sur un solide formant un important angle de contact;**

La mouillabilité dépend du caractère hydrophobe/hydrophile du matériau utilisé (à cause de la salive dans la cavité buccale) mais aussi de son énergie de surface ou du gaz présent par exemple. Il est important également lors de la coulée de l'empreinte en plâtre.

La mouillabilité d'un matériau d'empreinte est liée à la capacité du matériau à s'écouler dans de petites zones. Les empreintes qui mouillent bien les dents déplacent l'humidité et réduisent les vides. Les matériaux ayant un angle de mouillage élevé ne s'écoulent pas facilement dans les petites fissures et sont de mauvais candidats pour une utilisation en prothèse fixe. Les matériaux à faible angle de mouillage coulent beaucoup. L'eau est l'exemple idéal d'un matériau à faible angle de mouillage. La mouillabilité permet de réduire le nombre de vides et d'emprisonner moins de liquides buccaux, ce qui permet de réaliser des empreintes plus précises. (6)

Angles de contact :

Les matériaux d'empreinte à faible angle de contact permettent au plâtre dentaire de s'écouler facilement, et des moulages relativement sans bulles sont ainsi produits. Les matériaux à angle de contact élevé exigent une technique de coulée plus soignée et une attention plus soutenue pour produire des moulages précis. Les matériaux à base de vinyl polysiloxane peuvent nécessiter des agents tensioactifs pour abaisser l'angle de contact avant de couler les plâtres. (6)

- L'hydrophobie/hydrophilie :

Un matériau peut être techniquement classé comme "hydrophile" si l'angle de contact que l'eau forme avec lui est inférieur à 90°.

La plupart des fabricants des nouveaux matériaux d'empreinte VPS affirment que leurs matériaux sont hydrophiles. Bien que cela soit techniquement correct, c'est trompeur car cela implique que d'excellentes empreintes peuvent être réalisées dans un environnement humide, ce qui n'est pas vrai.

Les matériaux VPS d'origine étaient très hydrophobes et produisaient des angles de contact très élevés. Les formulations ultérieures ont inclus des agents de surface non ioniques dans les matériaux, ce qui a amélioré la mouillabilité et réduit les angles de contact. Certains des matériaux VPS plus récents comprennent une technologie qui greffe les agents de surface au polymère de silicone, ce qui améliore encore la mouillabilité et réduit l'angle de contact. Ces améliorations facilitent considérablement la coulée des matériaux VPS sans incorporer de bulles, mais elles ne permettent pas de réaliser des impressions acceptables dans un environnement humide. (5)

Les élastomères de silicone sont en général intrinsèquement hydrophobes parce que la "surface" d'une chaîne est dominée par des groupes méthyles paraffiniques. Un tel mauvais mouillage des matériaux d'empreinte par l'eau présente l'inconvénient de permettre la prise d'empreintes de salive ou de sang, à moins que le site ne soit soigneusement séché. Ces gouttelettes, bien entendu, peuvent masquer des détails essentiels. Il faut veiller à ce que les surfaces soient les plus sèches possibles. (10)

L'aspect hydrophobe des matériaux d'empreinte en vinyl polysiloxane a un effet négatif sur la qualité de la surface du matériau d'empreinte polymérisé.

La présence d'humidité entraîne des impressions avec des vides ou des surfaces piquées, et les détails reproduits sont de qualité inférieure. Ce résultat a été signalé même avec les nouveaux matériaux d'empreinte en vinyl polysiloxane "hydrophiles". Ces vinyl polysiloxanes hydrophiles ont une meilleure mouillabilité, et ne sont cliniquement acceptables que dans des conditions sèches. L'hydrophilie des VPS est améliorée par l'incorporation d'agents de surface non ioniques. Ils ont une partie hydrophile et une partie hydrophobe compatible avec les silicones. Ces agents de surface agissent grâce à un transfert par diffusion de molécules d'agents de surface du vinyl polysiloxane dans la phase aqueuse. La tension de surface du liquide est modifiée, ce qui augmente la mouillabilité. Lors de l'utilisation de vinyl polysiloxanes, le contrôle de l'humidité est essentiel pour garantir le succès de la prise d'empreinte clinique prévisible. En raison de leur nature hydrophile, les matériaux d'empreinte en polyéther et en polysulfures sont plus compatibles avec l'humidité inhérente présente dans les tissus muqueux. (6)

- La stabilité dimensionnelle :

Un matériau d'empreinte idéal serait dimensionnellement stable dans le temps et pourrait donc être coulé à la convenance de l'opérateur. (5)

Pour les silicones par addition : Comme il n'y a pas de sous-produit de la réaction chimique de prise des silicones d'addition, les matériaux VPS possèdent une stabilité dimensionnelle idéale. Ils peuvent être immédiatement coulés après avoir été retirés de la bouche, ou des heures voir des jours et même des semaines après avoir fait l'empreinte. Ils constituent le matériau d'empreinte de choix si l'empreinte doit être envoyée au laboratoire au sein duquel le dentiste ne peut contrôler le moment de coulée. (5)

Les polysulfures et les silicones de condensation présentent le plus grand changement dimensionnel pendant la prise, dans une fourchette de 0,4 à 0,6 %. Le retrait est le résultat de l'évaporation des sous-produits volatils et du réarrangement des liaisons avec la polymérisation. Les silicones d'addition présentent la plus petite variation, soit environ 0,15 %, suivis par les polyéthers, environ 0,2 %. La contraction est plus faible pour ces deux produits car il n'y a pas de perte de sous-produits. (6)

Les polysiloxanes de vinyl et les polyéthers sont plus stables à la déformation après la prise. (6) La stabilité dimensionnelle et la précision du VPS et du PE sont bien établies. Bien que la température de stockage ne semble pas influencer la stabilité dimensionnelle de ces matériaux si elle reste entre 4 et 40°C, (21) les températures au-delà de cette plage peuvent induire des distorsions des empreintes. (18)

- Le temps de prise et le temps de travail:

Pour chaque pâte à empreinte, les fabricants indiquent deux paramètres qui sont le temps de travail et le temps de prise. (22)

Le **temps de travail** est la durée pendant laquelle le praticien peut malaxer, charger et mettre en place le PE. Passé ce temps, il faut maintenir le matériau immobile afin qu'il achève sa polymérisation dans les meilleures conditions. Si cette précaution n'est pas respectée, le produit final comportera des défauts de structure et des déformations (tirages).

Le **temps de prise** est la durée comprise entre le début du malaxage et la polymérisation complète du matériau. Il inclut le temps de travail. S'il n'est pas respecté, l'empreinte sera désinsérée avec un matériau incomplètement polymérisé et comportera des déformations. Ce temps doit être suffisamment court pour rendre la prise d'empreinte acceptable par le patient mais ne doit pas être trop court pour certaines empreintes « techniques ». Il faudra donc adapter le matériau d'empreinte. (10)

Berg et al (23) ont montré que la température ambiante affecte de manière significative le temps de prise.

La plupart des matériaux d'empreinte exigent un rapport de 1:1 entre la base et le catalyseur. L'ajout de catalyseur accélère également le temps de prise. (6)

- La maniabilité :

L'avènement des dispositifs d'auto-mélange pour le mélange des matériaux d'empreinte élastomères a considérablement amélioré la maniabilité de ces matériaux. Les dispositifs de mélange électroniques sophistiqués (par exemple, Pentamix ; 3M-ESPE, St. Paul, Minnesota) et les pistolets de mélange plus simples utilisés par la majorité des systèmes fournissent un mélange standardisé avec moins de porosités inhérentes, un temps de travail accru et une économie due à la réduction des déchets de matériaux.

Le temps de travail peut être modifié par le fabricant, et la plupart des dispositifs de mélange automatique fournissent des matériaux avec des capacités de réglage standard et rapide.

Lorsqu'il prend une empreinte qui va être longue à réaliser, le clinicien peut également choisir de réfrigérer le matériau à faible viscosité, ce qui augmente le temps de travail sans sacrifier la précision. (5)

- La couleur :

Bien que cette propriété semble cosmétique elle est très importante. (10)

Des couleurs très contrastées sont utilisées lorsqu'il faut mélanger deux produits (base et catalyseur) afin de détecter facilement à l'œil nu les traînées non mélangées ou mal mélangées.

Des couleurs contrastées sont utilisées entre le light et le lourd afin de bien voir leur répartition. C'est d'autant plus important lorsque l'on utilise des techniques en deux temps, afin d'objectiver la bonne insertion du porte-empreinte.

Enfin, l'inspection par le clinicien pour déterminer l'adéquation ou non de la reproduction des détails fins est limitée par l'opacité et le contraste du matériau. (10)

- Le goût :

Les polyéthers ont un goût désagréable (24) et peuvent gêner le patient pendant la durée de la prise du matériau.

Les silicones par addition sont disponibles en plusieurs saveurs afin de plaire aux patients pendant les 3 à 5 min que nécessite leur prise. (6) Il faut toutefois faire attention au risque d'allergie c'est pourquoi le goût peut également être neutre tout comme son odeur. (24)

1.3. Matériaux utilisés en prothèse fixée

L'étude des matériaux et le cahier des charges nous a permis de mettre en évidence les silicones comme matériaux de choix pour les empreintes en prothèse fixée.

1.3.1. Silicone par condensation

Comme leur nom l'indique, ils sont formés par une réaction de condensation, et l'un des principaux inconvénients est la volatilité de l'alcool, généralement de l'éthanol, éliminé au cours du processus (**figure 4**). Cela entraîne inévitablement une variation dimensionnelle avec le temps, car il est facilement perdu par évaporation à la surface. Il est donc recommandé de couler les modèles assez rapidement, c'est-à-dire dans la demi-heure environ.

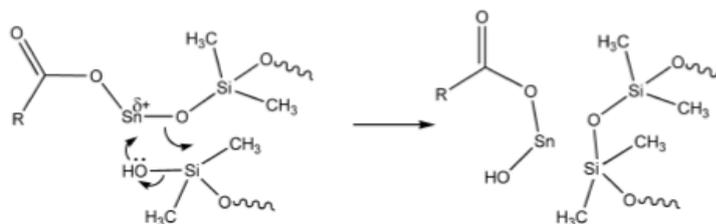


Figure 4: Réaction de condensation d'un silanol avec un polysiloxane par l'intermédiaire de l'étain (10)

Les silicones à réaction de **condensation** ont perdu de leur popularité en raison de leur faible stabilité dimensionnelle et de leur récupération élastique. Cet élastomère n'offre aucun avantage par rapport aux vinyl polysiloxanes et son utilisation est difficile à justifier. (24)

1.3.2. Silicone par addition

Les silicones à réaction d'**addition** constituent actuellement la catégorie la plus populaire de matériaux d'empreinte. Ils sont disponibles en différentes viscosités et peuvent s'adapter à plusieurs techniques. (24)

Si, au lieu d'un hydroxyle (pour la condensation), la chaîne polysiloxane est terminée à chaque extrémité par un groupe vinyle, c'est-à-dire des polydiméthylsiloxanes à terminaison vinyle ($H_2C=CH_2$), on peut les faire réagir avec un silane (c'est-à-dire avec de l'hydrogène Si-H réactif) pour effectuer la réticulation (**figure 5**). L'effet net est de transférer l'hydrogène du silane et son silicium pour séparer les atomes de carbone du groupe vinyle, et le processus est appelé **hydrosilylation**. Comme il s'agit d'une réaction d'addition, il n'y a pas de sous-produit, et ces matériaux - officieusement appelés silicones d'addition - atteignent probablement la meilleure précision dimensionnelle et la meilleure stabilité de tous les matériaux d'empreinte dentaire disponibles, malgré le fait qu'il y ait, bien sûr, encore un certain retrait de la réaction de prise.

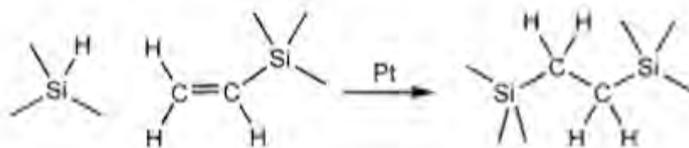


Figure 5: Réaction d'addition d'un silane sur un groupement vinyle (10)

En dentisterie, ces matériaux sont parfois appelés polyvinylsiloxane ou PVS. On peut voir que c'est incorrect car seuls les groupes terminaux sont en vinyle, et ceux-ci ne polymérisent pas comme dans l'acrylique et les autres systèmes de résine à radicaux libres. L'abréviation correcte doit être le **vinyl polysiloxane** et l'abréviation donc **VPS**.

Il faut toutefois souligner que même avec les matériaux en silicone d'addition actuels, il reste un comportement viscoélastique notable et que toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour éviter une déformation permanente excessive. Même ainsi, il s'agit de la classe de matériau d'empreinte la plus stable et la coulée du modèle peut être retardée, même de plusieurs jours, avec peu d'effet. (10)

Le temps de prise est également relativement court (4-5 minutes). (6)

Il existe un problème important avec les matériaux à base de silicone d'addition : c'est-à-dire lorsqu'ils sont mélangés dans la main, comme cela doit être fait avec les versions à très haute viscosité ("corps très lourd") de type putty, et en utilisant des gants en latex (24), elles peuvent ne pas durcir. Les gants sont, bien sûr, nécessaires pour de telles tâches car il est déconseillé de laisser des produits chimiques hautement réactifs entrer en contact avec la peau (les silanes réagissent avec toute substance contenant des hydroxyles). Toutefois, dans ce cas, il faut utiliser du polyéthylène ou un type similaire non réactif. Cela peut être en partie lié à la chimie du caoutchouc de latex qui présente encore de nombreuses doubles liaisons. Comme le catalyseur au platine réagit spécifiquement avec le groupe vinyl du VPS, il semble probable que la très haute densité des doubles liaisons dans le caoutchouc de latex, qui sont chimiquement similaires, lie trop de catalyseur pour que la réaction de prise se déroule normalement. Cependant, un effet plus important est que les substances utilisées pour favoriser la réticulation du caoutchouc des gants lors de leur fabrication, les accélérateurs contenant du soufre (dithiocarbamate), réagissent avec le catalyseur au platine, l'empoisonnant, en raison de leur teneur en soufre. (25)

Les agents hémostatiques de sulfate ferrique empêcheraient la prise des polysiloxanes de vinyle également. (24)

On rapporte que les gants en vinyle n'ont aucun effet négatif sur la polymérisation.

Aucun autre matériau d'empreinte (silicones de condensation, hydrocolloïdes irréversibles, PE, PS) n'est affecté par des gants en latex pur. (18)

Des couleurs très contrastées sont utilisées afin de détecter facilement à l'œil nu les traînées non mélangées ou mal mélangées. Le matériau de ces stries ne se réticulera pas correctement, si elles se fixent, et ne sera donc pas aussi rigide que le matériau adjacent. Toutefois, ces régions seront également beaucoup plus fluides sous l'effet des forces de cisaillement qui se produiront lors de l'enlèvement. Cela doit exagérer la distorsion de l'ensemble des contraintes, et ce de manière très irrégulière. La présence de toute trace visible sur la surface indique certainement un mélange incorrect, mais aussi un grand risque pour une empreinte inacceptable. (10)

La réaction chimique pour le VPS (ou silicone d'addition) implique une pâte de base contenant des molécules à terminaison hydrosilane qui réagissent avec une pâte accélératrice contenant des oligomères de siloxane avec des groupes terminaux vinyle et un catalyseur au platine. Bien qu'aucun sous-produit ne soit formé, il y a souvent une réaction secondaire qui peut libérer de l'hydrogène en présence de groupes hydroxyles, que l'on trouve couramment dans les impuretés provenant de la réaction d'oligomérisation de la molécule de siloxane. Il est donc recommandé d'attendre au moins 60 minutes avant de couler une empreinte VPS, bien que certains fabricants affirment qu'elle peut être coulée immédiatement. (26)

Il a été signalé que la vapeur dégagée par les matériaux d'empreinte en polysulfure peut provoquer une contamination. Il est conseillé de ne pas stocker le matériau d'empreinte en vinyl polysiloxane à proximité des matériaux d'empreinte en polysulfure. Une autre source de contamination est la couche inhibée par l'oxygène à la surface des matériaux en résine qui apparaît immédiatement après le durcissement. Cette fine couche fait que les empreintes restent collantes autour des nouvelles restaurations en composite.

S'il est conservé au réfrigérateur, il est conseillé de laisser le matériau revenir à température ambiante avant de l'utiliser, sinon il met plus de temps à durcir que la normale. Le matériau est plus épais lorsqu'il est froid et plus difficile à utiliser et à mélanger. (6)

Light et putty : Peut-on mélanger les marques ? Une étude de Marchand (12) précise la bonne compatibilité des silicones par addition d'une marque à l'autre. Néanmoins, l'adhésion entre le light et le lourd est un peu améliorée lorsqu'on utilise deux produits d'une même gamme. (27)

1.4. Techniques d'empreintes

La réalisation des empreintes en prothèse fixée se fait généralement suivant deux procédés : le double mélange et la wash technique.

1.4.1. Double mélange

Cette technique consiste à mettre en bouche deux matériaux avec une viscosité différente dans un même temps clinique afin qu'ils prennent ensemble. Un temps, deux viscosités.

1.4.1.1. Indications (20)

- Préparations périphériques supra et juxta-gingivales
- Préparations périphériques intra-sulculaires si l'accès aux limites est optimal
- Préparations cavitaires
- Présence d'une prothèse amovible sur l'arcade
- Piliers unitaires multiples et divergents.
- Fortes contre-dépouilles sur l'arcade.
- Dents mobiles (avec certaines précautions)

1.4.1.2. Protocole clinique (2)

PRATICIEN	ASSISTANT(E)
Choix, essai et préparation du porte-empainte	
Elimination du dispositif d'accès aux limites (selon la technique)	
Séchage de la préparation (20)	
Préparation du pistolet d'empainte	
Injection du light dans les cônes de raccordement : le tenon est en place, légèrement retiré (Surtout, ne pas injecter le <i>light</i> directement dans le canal)	Malaxage du silicone putty soft « du bout des doigts » Garnissage du porte-empainte
Enfoncement du tenon, à fond	
Injection autour de la préparation en remontant vers les surfaces occlusales et en gardant le contact avec la préparation	
Injection de <i>regular</i> sur toutes les faces occlusales de l'arcade	Remise du porte-empainte garni au praticien
Insertion en bouche du porte-empainte chargé de <i>putty</i>	
Maintien du porte-empainte en bouche durant le temps de prise et jusqu'à la prise complète du matériau	
Désinsertion après prise totale des silicones selon les indications fournies par le fabricant	
Retrait le plus axialement possible en évitant d'exercer de petits mouvements latéraux	

Tableau 3: Protocole clinique pour une empainte par double mélange

Causes d'échecs : Les échecs rencontrés dans l'empainte double mélange sont principalement dus à la faible compressivité de la technique. Ils se caractérisent par la présence de manques, de bulles ou de déformations par tirage. (20)

1.4.1.3. Avantages

- Technique rapide
- Peut être réalisée seul grâce au malaxage automatisé

1.4.1.4. Inconvénients

- Compressivité relative
- Risque de tirage élevé

1.4.2. Wash technique ou technique du lavis

Contrairement au double mélange, cette technique propose de séparer dans le temps la prise des silicones de viscosités différentes ; deux temps, deux viscosités.

1.4.2.1. Indications

Elles sont les mêmes que pour la DM à l'exception des indications suivantes (20) :

- Préparations cavitaires
- Dents mobiles
- Fortes contre-dépouilles

1.4.2.2. Protocole clinique (2)

Premier temps de l'empreinte initiale :

- Encoller le porte-empreinte ;
- Mettre en place le silicone dans le porte-empreinte ;
- Insérer en bouche ;
- Tant que le matériau est encore plastique et juste avant qu'il ne devienne élastique, mobiliser le porte-empreinte en direction des quatre points cardinaux ;
- Désinsérer l'empreinte après prise ;
- Contrôler l'empreinte : bannir notamment tout décollement du matériau par rapport au porte-empreinte.

Préparation de l'empreinte initiale en vue du deuxième temps :

- Eliminer au bistouri tout ce qui gêne le repositionnement de l'empreinte : enregistrements des zones de repli muqueuses, débordements extérieurs excessifs, languettes interdentaires (à l'exception de la zone concernée), créer des événements en regard des préparations sur la face palatine ;
- Essayer l'empreinte pour s'assurer de la bonne insertion ;
- Laver et sécher l'empreinte.

Rebasage de l'empreinte finale :

- Injecter du silicone *light* dans l'empreinte au niveau de toutes les dents ;
- Injecter du silicone en bouche au niveau des limites cervicales de la préparation ;
- Réinsérer le porte-empreinte en bouche ;
- Désinsérer après prise du matériau d'empreinte.

Descamp (20) propose d'essayer l'empreinte au silicone lourd trois fois ce qui amène un risque de déformation du matériau. Néanmoins, cette action présente deux avantages :

Tout d'abord, elle permet au praticien de s'entraîner à repositionner correctement l'empreinte et éviter l'erreur d'un placement hasardeux lors du deuxième temps.

Ensuite, la mauvaise remise en place de l'empreinte est souvent causée par un ou des petits copeaux d'élastomères qui sont arrachés lors du repositionnement, qui sont emmenés au fond de l'empreinte et qui empêchent cette dernière de se replacer en parfaite intimité avec les structures dentaires. Le résultat est une déformation qui invalide l'empreinte. En l'essayant plusieurs fois, les copeaux sont arrachés avant la réalisation du 2^{ème} temps et peuvent ainsi être mobilisés et repérés préalablement (avec le spray d'air) pour être éliminés. Les chances de succès sont alors augmentées.

Causes d'échecs (20) :

Les échecs rencontrés avec la wash-technique sont souvent causés par un mauvais repositionnement de l'empreinte pendant le rebasage. Il en résulte une empreinte réalisée en torsion, puisque replacée plus ou moins correctement selon les endroits de l'arcade.

La première cause d'erreur provient des copeaux arrachés pendant le remplacement du matériau lourd sur l'arcade

Une autre cause de mauvais repositionnement peut provenir d'une répartition non régulière du matériau fluide. Il en résulte la possibilité de bulles, de tirages ou de manques.

Enfin, un mauvais séchage peut empêcher l'adhésion des deux phases entre elles.

1.4.2.3. Avantages

- Plus simple à réaliser quand on est seul au fauteuil.
- Bon rôle de compression
- Offre une bonne précision (28)

Nissan et al (29) ont signalé que la technique d'empreinte en une étape donnait des résultats moins précis que la technique d'empreinte en deux étapes. Ils estiment que le manque de contrôle du volume de lavage (du silicone haute viscosité) a influencé négativement la précision de la technique d'empreinte en une seule étape.

La stabilité dimensionnelle est meilleure que le double mélange concernant les zones sulculaires.

En effet, pour les silicones par addition (ici, utilisation de President®, Express regular® et fast®) lors de l'utilisation de la technique d'empreinte en deux étapes, la coulée des empreintes peut être reportée jusqu'à 30 heures ; cependant, lors de l'utilisation de la technique d'empreinte en une étape, la coulée doit être effectuée dans les 2 heures. (30)

Parmi les silicones d'addition, la technique multimix (plusieurs viscosités) était plus précise sur le plan dimensionnel que le matériau monphasique. (31)

1.4.2.4. Inconvénients

- Modifications dimensionnelles si on ne respecte pas un protocole précis (32)
- Temps supplémentaire au fauteuil
- Matériel supplémentaire nécessaire

Bien que la dureté élevée du matériau à haute viscosité indique une faible flexibilité et un haut degré de rigidité, qui sont des caractéristiques souhaitables pour un matériau d'empreinte, il n'a pas été possible d'éviter l'altération dimensionnelle du vinyl polysiloxane dans la technique en deux étapes sans décharge. En outre, si aucune décharge n'est réalisée sur l'empreinte préliminaire, il n'y a pas d'espace pour permettre au matériau de lavage de s'écouler, ce qui complique la remise en place de l'empreinte primaire. (33)

2. COMPARAISON D'UNE TECHNIQUE EN UN TEMPS ET EN DEUX TEMPS POUR L'EMPREINTE D'INLAY-CORE

La technique du double mélange est le gold standard pour les empreintes cavitaires. Cependant comme nous l'avons décrit précédemment du fait du grand nombre d'étapes à réaliser simultanément, des défauts peuvent apparaître (bulle, tirage...)

Si cette technique est aisément maîtrisable lors de l'empreinte d'un seul logement, elle devient plus difficile lorsque le nombre de logements augmente. De plus à la mandibule la présence de salive complexifie cette étape en augmentant le risque de bulles.

La solution pourrait être de réaliser l'empreinte en deux temps pour que l'assistant(e) puisse se concentrer à l'élimination de la salive et à la déflexion des téguments. De plus, l'augmentation de la pression lors de l'insertion du porte-empreinte lors du deuxième temps augmenterait la rhéologie du silicone.

Pour répondre à cette question nous allons adapter le protocole de la wash-technique afin de répondre aux exigences d'une empreinte pour inlay-core.

Ensuite, nous allons numériser les empreintes effectuées par ces techniques grâce à un scanner de laboratoire et enfin comparer les fichiers STL grâce au logiciel Cloud Compare®.

2.1. Protocole modifié de la wash technique pour inlay-core

2.1.1. Protocole

- Essayage du porte-empreinte :

L'idéal est d'utiliser un porte-empreinte très rigide (en métal).

- 1^{er} temps : Empreinte au silicone lourd

Mise en place des tenons pour visualiser leurs positionnements et enfoncement final lors de l'aménagement de l'empreinte et assurer une passivité lors de la seconde empreinte.

Malaxage du matériau visqueux en respectant le temps de travail donné par le fabricant (34) (35) (30 sec pour Kite surf Putty soft® (36)) et chargement du porte-empreinte.

- Désinsertion franche

Les porte-empreintes ont ensuite été soulevés d'avant en arrière pour retirer l'empreinte du modèle. (37) (38)

- Aménagement de l'empreinte

Au niveau périphérique :

- Supprimer les contre-dépouilles et contraintes à l'aide d'un bistouri (**figure 6**).
- Supprimer la partie centrale du palais (si au maxillaire).



Figure 6: Instruments utilisés pour l'aménagement de l'empreinte; de gauche à droite, une sonde 6, un bistouri punch, un scalpel

Au niveau des dents non préparées (1) :

- Réalisation d'une rainure de 2 mm de largeur et de profondeur en alternant vestibulaire et palatin/lingual.
- Enlever tout le silicone en interdentaire

Au niveau des préparations :

- Réalisation d'un forage d'échappement correspondant avec une perforation du PE à l'aide d'un bistouri punch (utilisation d'un Biopsy punch® de 4 mm de diamètre de chez Stiefel®) (**figure 6**)
- La totalité du silicone lourd se trouvant au niveau de la cavité est enlevé.
- Réalisation d'une rainure en mésial et une en distal du bord cervical au bord supérieur de la préparation. (1)

Essayer 3 fois de repositionner l'empreinte sur l'arcade (risque de déformation du matériau mais ça permet de s'entraîner au repositionnement correct de l'empreinte et ensuite cela permet d'arracher les petits copeaux d'élastomères qui seraient possiblement responsables d'un mauvais repositionnement de l'empreinte en étant emmenés au fond de celle-ci). Cela augmente les chances de succès.

Evaluer l'empreinte et éliminer les copeaux mobiles au niveau de l'empreinte (responsables d'un mauvais repositionnement)

- 2eme temps : Empreinte au silicone light

Avant l'injection du silicone :

- Séchage des préparations à la soufflette
- Mise en place du tenon (en titane Pivomatic® cylindro-conique (39)) choisi en fonction de la taille de préparation.
- Il doit être légèrement retiré, on n'injecte surtout pas de light directement dans le canal. (2)

Au niveau du porte-empreinte :

- Séchage rigoureux à la soufflette (pour éviter le décollage du silicone light du putty)
- Enduction du matériau fluide en commençant par la préparation

Au niveau buccal :

- Injection dans et autour de la préparation en remontant vers les surfaces occlusales et en gardant le contact avec la préparation, ceci dans un délai de 1 min à partir du début du mélange. (35)
- Mise en place du tenon à fond.
- Insertion complète et maintien du porte-empreinte
- Désinsertion franche et évaluation du résultat (**figure 7**)



Figure 7: Chronologie du rebasage, on peut distinguer les puits d'échappement

2.1.2. Critique du protocole

Concernant le porte-empreinte :

La conception du PE (paroi, forme et épaisseur) et le matériau utilisé sont à prendre en compte pour cette technique. Sous l'effet des forces exercées par les doigts du dentiste, le PE peut se déformer. Cela peut prendre la forme d'un écartement de la paroi et d'une torsion.

Le métal est donc préférable au plastique, et les parois épaisses plutôt que minces, tandis que l'absence de contact direct avec les dents et une faible force sont nécessaires. (10)

Concernant l'espacement :

D'après Chugh et al, l'espacement idéale serait de 0,5 mm pour mettre le light de façon uniforme et contrôlé. (40) Une comparaison avec un espaceur en polyéthylène a démontré que ces derniers produisaient les changements dimensionnels les plus inégaux.

Dans cette étude, nous privilégions la technique de découpe à une feuille d'espacement (Plicafol®) car il y a davantage de reproduction complète (88-98% contre 73-90%) même si lorsqu'elle est complète, la reproduction est plus fidèle ensuite avec la feuille d'espacement car cela crée un vide permettant un drainage donc une compression plus faible du silicone light contribuant à une récupération élastique moins importante lors du retrait de l'empreinte. (1)

Concernant la prise du matériau :

Pour simuler au mieux la situation clinique, Mann et al (1) ont préchauffé l'ensemble de l'unité de prise d'empreinte dans une armoire chauffante à 37°C avant que les empreintes ne soient réalisées.

Dans notre étude nous avons préféré suivre le travail de Pande et al (35), faute d'avoir d'armoire pré-chauffante à disposition, en doublant le temps de prise recommandé par le fabricant afin de compenser la réaction de polymérisation retardée par rapport à la température buccale.

Soit 11 min pour le kitesurf® qui a un temps de prise de 5min30. (36)

2.2. Matériel et méthode

2.2.1. Préparation des échantillons

Pour cette étude, nous avons tout d'abord sélectionné des molaires et prémolaires extraites en s'appliquant à séparer en fonction des secteurs (1 à 4) afin de nous rapprocher au mieux de la situation clinique, surtout en ce qui concerne l'axe des tenons des futurs inlay-cores. Après avoir apparié une molaire avec une prémolaire sur un secteur précis, 3 doublettes ont été choisies : 25-27 (**figure 8**) ; 15-16 et 35-36.

Ces 6 dents ont été traitées endodontiquement grâce au système ProTaper Gold® (Dentsply Sirona) en terminant par F1 ou F2 suivant la largeur du canal. L'obturation a été faite avec de l'oxyde de zinc-eugénol et des cones de gutta-percha calibrés qui ont subi une thermo compaction (revo condensor, Micro Mega®) et une compaction verticale par un fouloir de Machtou. La bonne adaptation du traitement endodontique a été vérifiée radiologiquement.

Ces dents ont ensuite été disposées suivant leur secteur dans des moules en silicone représentant l'arcade dentaire humaine à l'échelle 1.

La coulée a été faite avec du plâtre de type 4 (Fujirock EP, GC Corporation®).

Une fois le plâtre pris, les dents ont été préparées à l'aide d'instruments rotatifs diamantés avec des diamants grossiers et fins (fraise boule diamantée (801.009, Stoner®, Suisse), fraises congés sans bague (881.012, Stoner®, Suisse) et bague rouge (F881.012, Stoner®, Suisse). L'absence de contre-dépouilles, la visibilité de l'angle de la ligne et la divergence des parois (6-10%) ont été vérifiées. (41)

Les forages pour inlay-cores ont ensuite été réalisés (forets de Gates 2 à 4 puis Pivomatic® jaune) en respectant les recommandations, le logement canalaire a été préparé en veillant à laisser 5 mm de gutta en apical pour l'étanchéité endodontique. (39)



Figure 8: Photographie du modèle de référence : arcade à l'échelle 1

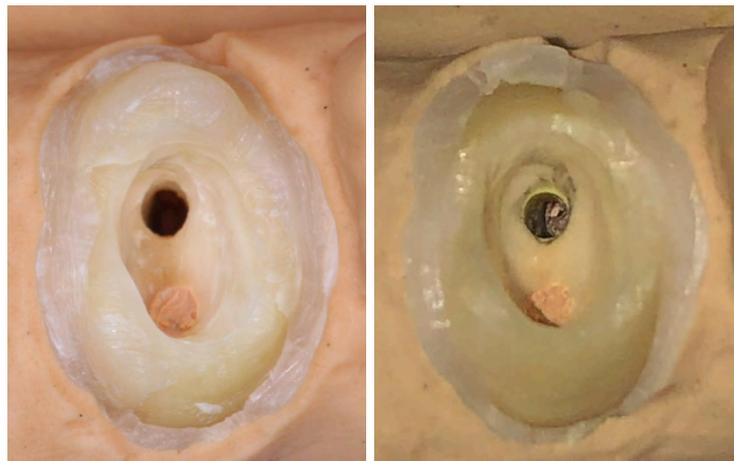
2.2.2. Réalisation des empreintes

Tout d'abord nous réalisons l'empreinte des modèles grâce à la technique du double mélange suivant le protocole décrit précédemment (chapitre 1.4.)

Nous réalisons 2 empreintes que nous numériserons et recalons ensemble afin de connaître l'écart entre ces deux empreintes. Les prises d'empreinte se sont déroulées sur 3 dates différentes (mi-juillet ; début septembre ; fin septembre), entre ces étapes, du fait de la dessiccation des dents qui étaient incluses dans le plâtre depuis janvier 2020, des fragments de couronnes se sont cassés (**figure 9**). Nous avons dû légèrement réparer les dents.

De ce fait, il a fallu diviser les empreintes en 3 groupes distincts.

Figure 9: comparaison de la préparation entre les premières empreintes en juillet 2020 (gauche) et les dernières fin septembre 2020 (droite)



Puis nous réalisons plusieurs empreintes successives en wash-technique modifiée pour inlay-core en fonction du protocole décrit plus haut. Les empreintes réalisées en wash-technique sont au nombre de 2 pour début juillet, 4 pour début septembre et 5 pour fin septembre.

Entre le premier temps et le second le putty est stocké sans être dérangé pendant 8 minutes pour simuler le temps nécessaire à la rétraction gingivale et à l'isolation de la préparation. (35)

Les procédures d'empreinte ont été menées à température ambiante contrôlée ($25 \pm 10^\circ\text{C}$) et manipulées conformément aux instructions du fabricant. (34) (35)

On pourrait comme dans l'étude de Haralur et al réaliser le pesage des matériaux sur une balance de précision permettant d'établir la proportion exacte de base et de catalyseur. (34) Cependant dans un soucis de simplicité et reproductibilité dans les conditions d'un cabinet dentaire nous avons choisi d'utiliser les cuillères fournies par le fabricant (**figure 10**) en appliquant la proportion 1:1, 1,5 cuillères doseuses du fabricant pour la base et le catalyseur. (36)



Figure 10: Les proportions sont faites grâce aux cuillères fournies par le fabricant

Après la désinfection, les empreintes ont été stockées à $25 \pm 10^\circ\text{C}$ pendant au moins une heure pour permettre la récupération élastique et la libération d'hydrogène du vinyl polysiloxane (34) avant d'être numérisées à l'aide du scan de laboratoire.

2.2.3. Numérisation et traitement des fichiers

Les empreintes ainsi réalisées ont été données au laboratoire de la save (Saint Paul sur Save, France) pour être numérisées.

Ils utilisent un scanner de référence, le Dental Wings® 7 series (DW-7-140), Straumann Group Brand® (**figure 11**). (38) (42) Les scanners de référence sont couramment utilisés pour vérifier un grand nombre de procédures. Par exemple les méthodes d'empreintes (43) qu'il n'est plus nécessaire d'avoir coulées pour pouvoir enregistrer numériquement. (44)

Trois caméras et un laser permettent l'acquisition des modèles positifs ou négatifs (empreinte) suivant 5 axes. La précision ainsi obtenue est de 15 micromètres. (45)



Figure 11: Scanner de Bureau 7series utilisé dans notre étude

Pour améliorer la reproductibilité, toutes les manipulations ont été réalisées par le même opérateur. (46)

La maille (mesh) obtenue après le balayage laser a été utilisée comme référence et aucune autre manipulation n'a été effectuée. (46)

Il a ensuite été sauvegardé au format STL (Standard Tessellation Language) pour être ouvert par le logiciel Cloud Compare qui est un logiciel de comparaison de maillages 3D de métrologie. (46)

2.2.4. Recalage des modèles

Maintenant que les empreintes sont numérisées il faut isoler la préparation du reste du modèle puis les superposer. Ensuite, un algorithme de minimalisation des distances entre les nuages de points nous permettra de les comparer. (47) Pour cela nous allons utiliser le logiciel Cloud Compare.

Etape 1 :

Importer les deux empreintes numérisées à comparer. Ici DM1 et WT1.

Grâce à l'outil de segmentation (), tracer une ligne autour des limites de la préparation 25 sur DM1 puis cliquer sur « segment in » afin de ne garder que cette partie et enfin confirmer la segmentation (figure 12). Il faut faire de même pour WT1.

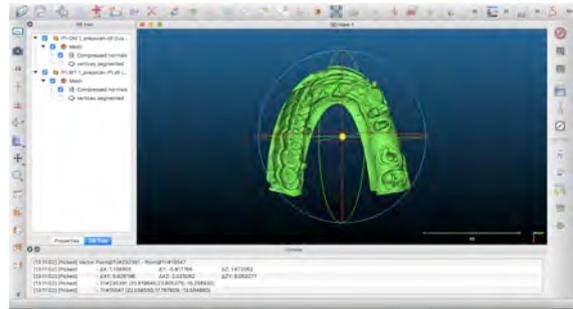


Figure 12: CE des 2 empreintes numérisées non segmentées

Etape 2 :

Il faut maintenant recalcr les deux segmentations.

Pour cela cliquer sur les deux sous dossier « .part » créés précédemment afin de les sélectionner et faire un recalage automatique (figure 13, 14, 15)



Figure 13 : CE de la fenêtre de recalage

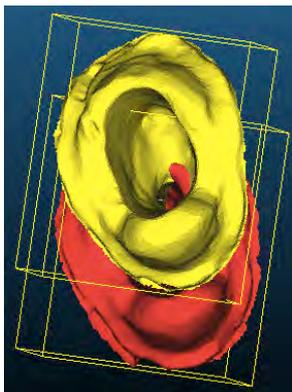
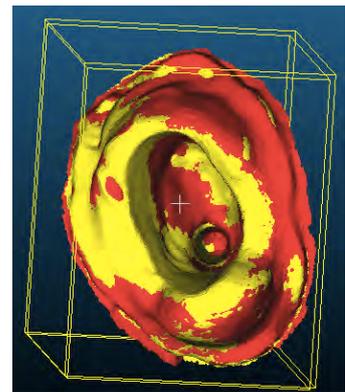


Figure 14 : CE des deux STL avant le recalage

Figure 15 : CE des deux STL après le recalage



Etape 3 :

Sélectionner les 2 Meshs superposés et calculer la distance entre les Meshs en veillant bien à prendre le DM1 en référence (**figure 16**). Pour cela il faut appuyer sur le bouton « compute cloud/mesh distance » :



Après calcul vous obtenez une image superposée (**figure 17**) avec un code couleur, indiquant les zones d'expansion ou de contraction. Les valeurs moyennes obtenues représentent les erreurs volumétriques. (48) (42)

Cette comparaison est faite en fonction du **point voisin le plus proche signé**. L'algorithme recherche la distance la plus courte entre un point de surface du modèle 1 et un point de surface du modèle 2, en considérant la direction positive ou négative par rapport à la normale à la surface du modèle 1. Par conséquent, la distance peut être positive ou négative. (38)

Etape 4 :

Créer l'histogramme de cette comparaison en appuyant sur ce bouton



Pour que la précision de la comparaison soit optimale modifier de 256 à 125 le pas de l'échelle de couleur dans les propriétés (**figure 18**). (49)

La fonction histogramme permet d'avoir une idée globale de la justesse entre les deux empreintes. (42)

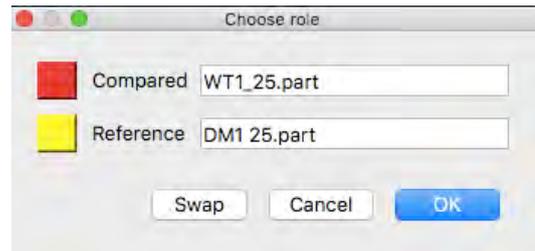


Figure 16: CE de la fenêtre de comparaison des deux MESH

Figure 17: CE de la comparaison des deux MESH, on note l'irrégularité du recalage de la limite de segmentation

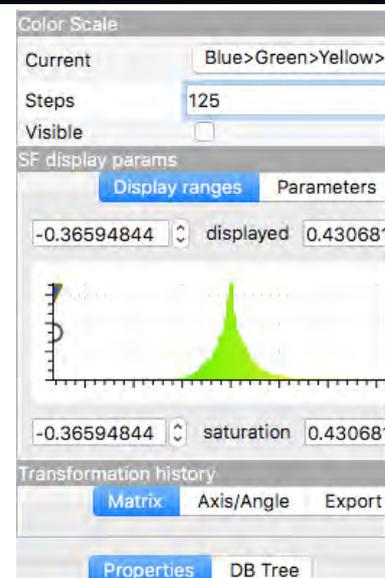
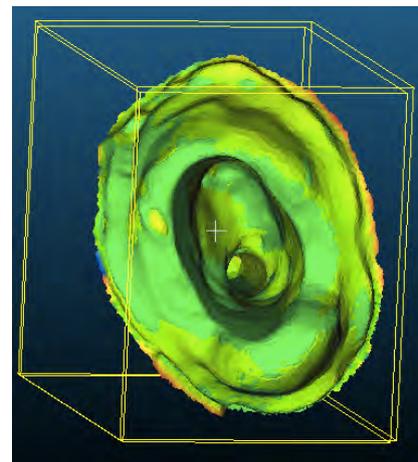


Figure 18: CE de la fenêtre "Propriétés" pour modifier le pas de l'échelle

Pour estimer les différences entre les surfaces, chaque vertex de la surface d'essai a été projeté au point le plus proche de la surface de contrôle correspondante, et la distance euclidienne a été enregistrée (**figure 19**). (50)

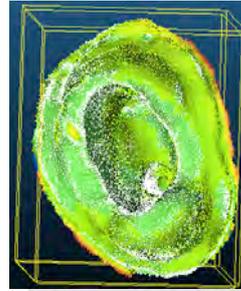


Figure 19 : CE de la comparaison des vertex des deux STL

Ces différences tridimensionnelles sont visualisées sous la forme d'un graphique (**figure 20**) avec en ordonnée la distance séparant les deux meshes. Cet écart se distribue autour de la valeur zéro signifiant qu'il n'y a pas de différence entre les deux empreintes. Et en abscisse le nombre de fois où cette valeur d'écart est retrouvé.

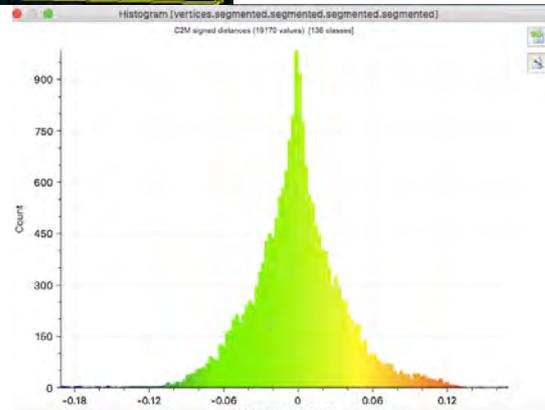


Figure 20: CE de l'historgramme de la comparaison des deux STL

Etape 5 :

Exporter l'historgramme au format CSV (**figure 21**).



Figure 21: Signet représentant la conversion en tableur CSV

Ce dernier sera converti en .xls afin de réaliser les calculs nécessaires et interpréter les données.

Ce protocole est répété pour chacune des empreintes que nous souhaitons comparer avec pour référence DM1, DM3, DM4 ou DM5, WT9 et WT17 suivant l'échantillon.

2.2.5. Traitement des données

Les matchings ont été regroupés en 3 échantillons distincts correspondant au moment de la prise d'empreinte :

- 17 juillet 2020 (DM1-2, WT1-2)
- 04 septembre 2020 (DM3, WT8-16)
- 23 septembre 2020 (DM4-5, WT17-21)

Cela a été nécessaire car du fait de l'inclusion des dents dans le plâtre en janvier 2020, malgré une humidification qui se voulait régulière (environ toutes les semaines), les dents ont subi une dessiccation et entre leurs préparations en juin 2020 et la fin de la prise des empreintes (fin septembre) elles ont perdu un fragment palatin au niveau du congé (entre juillet et septembre) et subi une fracture de 2mm environ de la partie palatine (fin septembre avant la prise d'empreinte).

Les empreintes WT3-7 n'ont pu être incluses dans l'étude car du silicone a été laissé dans un logement et n'a permis le bon positionnement des tenons. Cela n'a été décelé qu'après numérisation des empreintes.

Pour chacun de ces groupes nous avons comparé les empreintes faites en double mélange ensemble, les empreintes en wash technique modifiée ensemble afin d'obtenir des informations sur la justesse de ces empreintes. Enfin les doubles mélanges ont été comparés avec les wash techniques pour évaluer la fidélité.

Nous avons décidé de mesurer et d'exprimer les écarts entre les modèles sous forme d'erreur moyenne, d'erreur moyenne absolue et d'erreurs quadratiques moyennes pour l'analyse quantitative. (50)

Ainsi les données récupérées avec les matchings des STL de deux empreintes ont été compilées dans un tableau Excel (**tableau 4**).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Value	Class start	Class end		Class	Moy	MoyCARRE	MoyABS		Mean Error	an Absolute Error	Squared Error	
2	1	-0,3420964	-0,3372017		-0,3396491	-0,3396491	0,11536151	0,33964909		ME	MAE	MSE	
3	1	-0,3372017	-0,332307		-0,3347544	-0,3347544	0,1120605	0,33475439		-0,0004259	0,0018478	0,02925504	
4	3	-0,332307	-0,3274123		-0,3298597	-0,989579	0,32642223	0,98957905					
5	1	-0,3274123	-0,3225176		-0,324965	-0,324965	0,10560224	0,32496498					
6	1	-0,3225176	-0,3176229		-0,3200703	-0,3200703	0,10244498	0,32007027					
7	0	-0,3176229	-0,3127282		-0,3151756	0	0	0					
8	0	-0,3127282	-0,3078335		-0,3102809	0	0	0					
9	1	-0,3078335	-0,3029388		-0,3053861	-0,3053861	0,0932607	0,30538615					
10	3	-0,3029388	-0,2980441		-0,3004914	-0,9014743	0,27088532	0,90147433					
11	4	-0,2980441	-0,2931494		-0,2955967	-1,1823869	0,34950972	1,18238695					
12	2	-0,2931494	-0,2882547		-0,290702	-0,5814041	0,16901534	0,58140406					
13	1	-0,2882547	-0,28336		-0,2858073	-0,2858073	0,08168583	0,28580732					
14	0	-0,28336	-0,2784653		-0,2809126	0	0	0					

Tableau 4: Excel regroupant les données du matching entre DM1 et WT1

La colonne « Value » correspond à la valeur du nombre de vertex compris dans une distance déterminée par deux bornes.

Les colonnes « Class start » et « Class end » représentent les bornes encadrant un palier contenant un certain nombre de distances entre les vertex des deux STL.

La colonne « Class » détermine la valeur moyenne des deux bornes afin de simplifier les calculs suivants.

Nous avons ensuite calculé la moyenne, la moyenne en valeur absolue puis la moyenne au carré pour chaque class :

La colonne « Moy » est la multiplication de la « Class » par le « Value », cela donne un poids à cet intervalle en fonction du nombre de différences entre vertex d'une certaine distance comprise dans ce groupe.

La colonne « MoyCARRE » met au carré la colonne « Class » afin de potentialiser les différences entre vertex les plus importants.

La colonne « MoyABS » correspond à la valeur absolue des erreurs, cela permet d'éviter qu'il y ait une compensation des erreurs.

Enfin nous avons calculé nos indices représentant la corrélation entre nos deux empreintes :

Mean Error (Erreur moyenne) : qui est la somme de toutes les erreurs divisées par le nombre d'erreurs. Cela donne une idée sur la variance de la courbe de Gauss. S'il n'y a pas de variance elle vaut 0, les erreurs positives et négatives se compensent.

Mean Absolute Error (Erreur moyenne absolue ou EMA ou MAE) : elle permet d'avoir une idée de la proportion d'erreurs présentes entre les deux empreintes scannées. Toutefois, l'EMA peut être affectée par un grand nombre de valeurs d'erreur moyennes sans refléter de manière adéquate certaines erreurs importantes. (51)

La meilleure approximation de l'écart entre les scans est représentée par la valeur absolue des écarts positifs et négatifs. (52)

Mean Squared Error (Erreur quadratique moyenne ou MSE) qui pénalise la variance en donnant plus de poids aux erreurs ayant des valeurs absolues plus élevées qu'à celles ayant des valeurs absolues plus faibles.

3. RESULTATS

Le but de cette étude est de savoir si les empreintes en double mélange et wash technique modifiée pour les inlay-cores ont une exactitude équivalente.

Pour cela nous avons testé les 2 composantes de l'exactitude de la norme ISO-5251 (11) :

- La justesse qui a été obtenue en comparant le modèle de référence avec les modèles de comparaison. Pour ce paramètre la meilleure solution aurait été de pouvoir scanner le modèle en plâtre directement avec le scanner de bureau pour qu'il serve de référence. Seulement la profondeur du logement canalaire du tenon rendait cette tâche impossible. Nous avons donc supposé l'empreinte DM fidèle afin qu'elle serve de référence pour le test de la justesse pour les modèles de comparaison à savoir les empreintes WT modifiées. (37) (41)

- La fidélité, qui est la proximité des mesures répétées les unes par rapport aux autres. (13) Elle permet de déterminer la reproductibilité des empreintes par une comparaison intra-groupe des modèles numérisés (DM entre eux et WT entre eux). (41)

Plus la fidélité est élevée, plus la mesure est prévisible.

Notre hypothèse nulle est qu'il n'y a pas de différence de justesse et de fidélité entre les empreintes en double mélange et wash technique modifiée.

Nous comparons donc 3 échantillons :

DM/DM où $n=2$

DM/WT où $n= 21$

WT/WT où $n= 13$

Puis nous calculons leurs Mean Error, leurs Mean Absolute Error et Mean Square Error. Les résultats sont compilés dans le tableau ci-après.

Numéro de l'échantillon	Numéro des dents matchées	Mean Error	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
1	25-DM1-DM2	0,0016	0,0545	0,0048
3	25-DM4-DM5	-0,0041	0,0293	0,0027
1	25-DM1-WT1	-0,0004	0,0292	0,0018
	25-DM1-WT2	-0,0167	0,0543	0,0054
2	25-DM3-WT8	0,0171	0,0505	0,0059
	25-DM3-WT9	-0,0085	0,0347	0,0026
	25-DM3-WT10	-0,0006	0,0363	0,0029
	25-DM3-WT11	-0,0088	0,0300	0,0020
	25-DM3-WT12	0,0012	0,0620	0,0137
	25-DM3-WT13	0,0050	0,0339	0,0022
	25-DM3-WT14	-0,0001	0,0233	0,0012
	25-DM3-WT15	0,0218	0,0695	0,0085
	25-DM3-WT16	-0,0073	0,0341	0,0039
3	25-DM4-WT17	-0,0154	0,0724	0,0272
	25-DM4-WT18	-0,0096	0,0410	0,0097
	25-DM4-WT19	-0,0138	0,0465	0,0120
	25-DM4-WT20	-0,0107	0,0597	0,0105
	25-DM4-WT21	-0,0188	0,0611	0,0204
	25-DM5-WT17	-0,0108	0,0552	0,0165
	25-DM5-WT18	-0,0058	0,0356	0,0052
	25-DM5-WT19	-0,0084	0,0349	0,0061
	25-DM5-WT20	-0,0051	0,0398	0,0046
	25-DM5-WT21	-0,0148	0,0451	0,0124
1	25-WT1-WT2	-0,0167	0,0543	0,0053
2	25-WT9-WT8	0,0208	0,0509	0,0060
	25-WT9-WT10	0,0055	0,0234	0,0014
	25-WT9-WT11	-0,0042	0,0317	0,0019
	25-WT9-WT12	0,0049	0,0599	0,0127
	25-WT9-WT13	0,0079	0,0351	0,0025
	25-WT9-WT14	0,0037	0,0256	0,0013
	25-WT9-WT15	0,0254	0,0641	0,0085
	25-WT9-WT16	-0,0026	0,0312	0,0034
3	25-WT20-WT17	-0,0067	0,0452	0,0068
	25-WT20-WT18	-0,0033	0,0417	0,0037
	25-WT20-WT19	-0,0055	0,0404	0,0035
	25-WT20-WT21	-0,0114	0,0483	0,0058

Tableau 5: Récapitulatif des mesures de ME, MAE et MSE de l'ensemble des matchings réalisés

Ces résultats nous ont permis une statistique concernant nos trois variables étudiées.

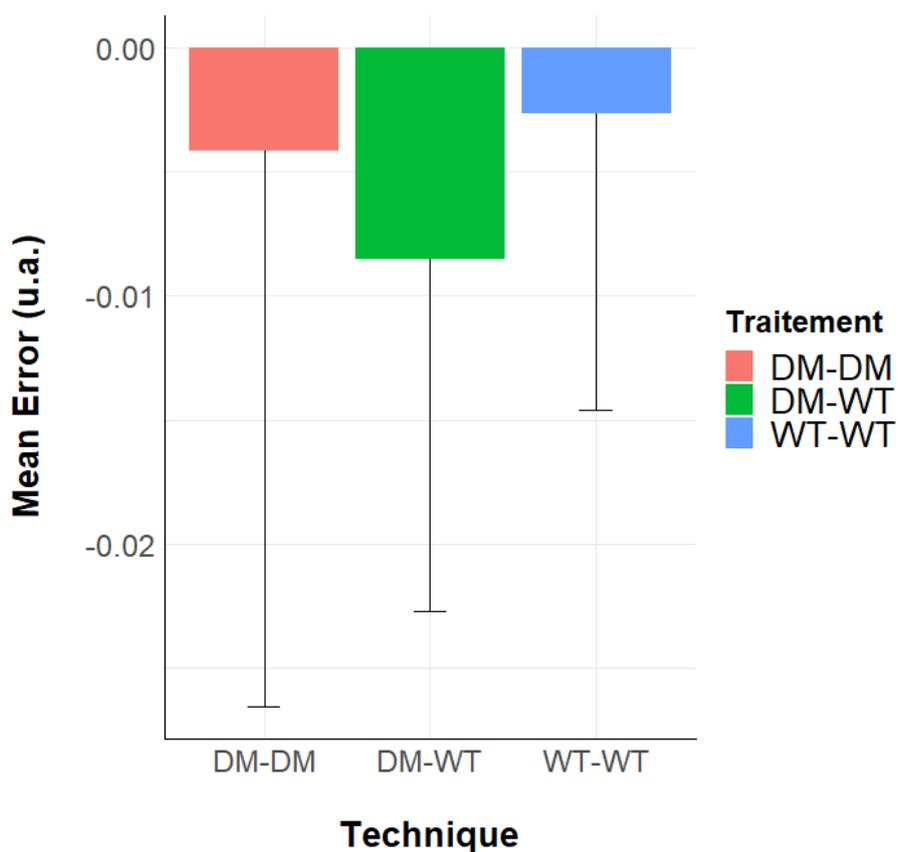


Figure 22: Diagramme représentant le Mean Error

Il ne semble pas exister de différence en termes de fidélité entre les différentes techniques d’empreinte en comparant DM-DM et WT-WT (**figure 22**). Néanmoins, on remarque que le groupe DM-DM a un écart type important, qui est à corrélérer avec un échantillon faible. L’erreur pour le DM-WT n’est pas significativement supérieure à 0.

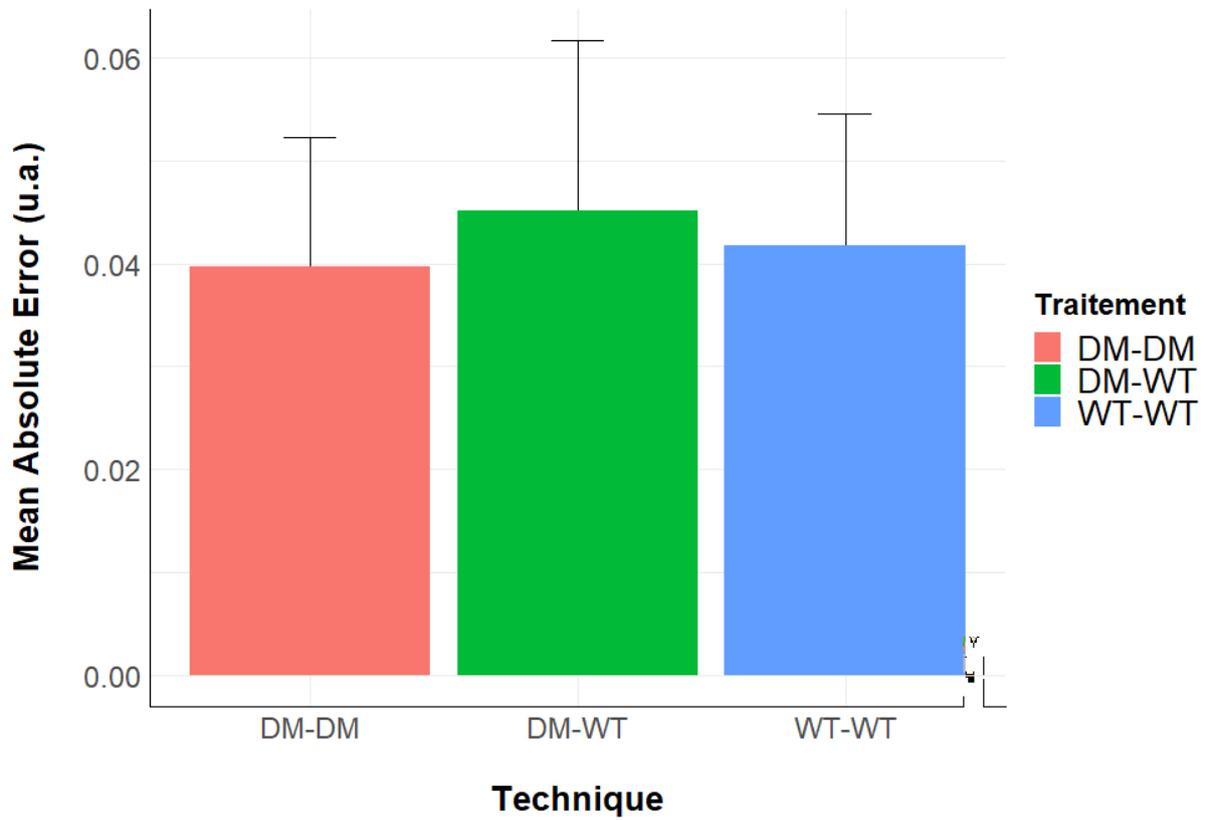


Figure 23: Diagramme représentant le Mean Absolute Error

De la même manière, il n'existe pas de différence significative de l'erreur moyenne absolue entre les techniques (**figure 23**). L'écart type semble également similaire. Ainsi, il n'existe pas de différence de fidélité (DM-DM versus WT-WT). Néanmoins l'erreur de DM-WT est significativement supérieure à 0.

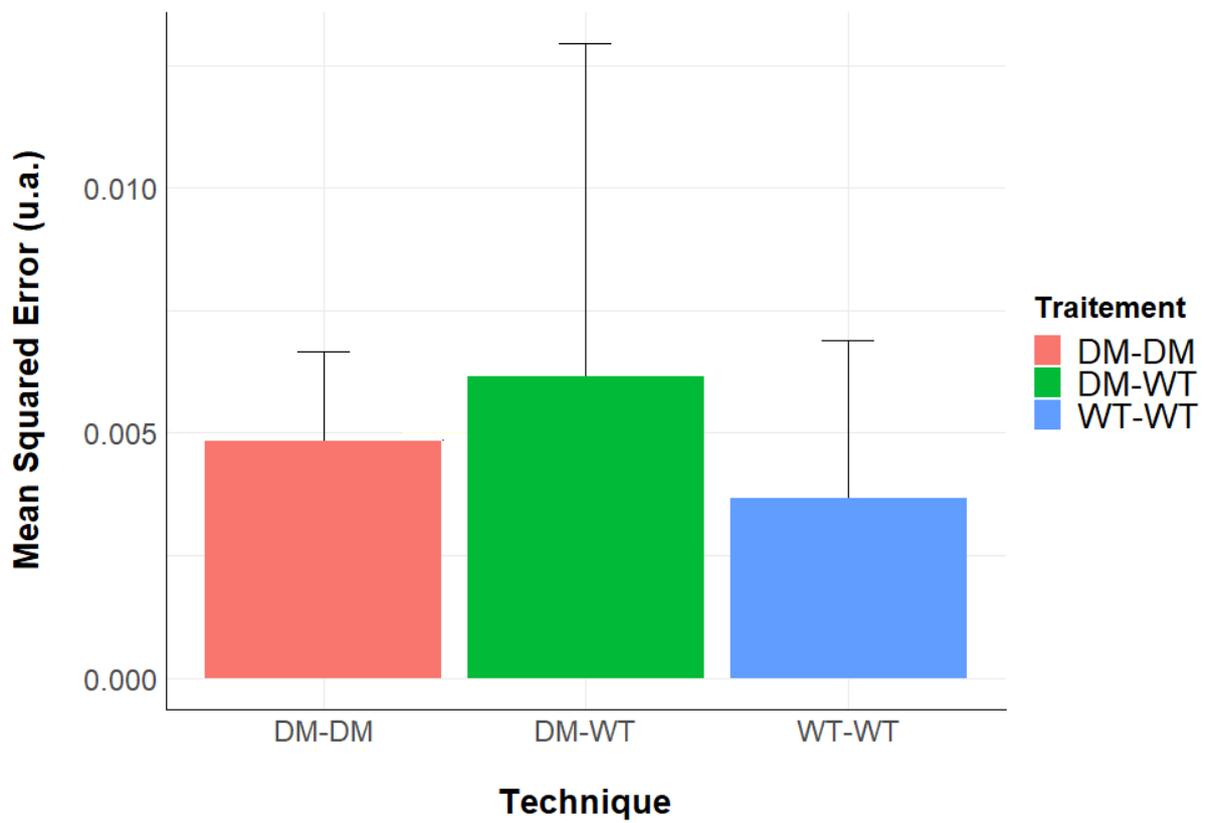


Figure 24: Diagramme représentant le Mean Square Error

La MSE (**figure 24**) amplifie les erreurs importantes grâce à la mise au carré, confirmant ce qui a été aperçu dans les diagrammes en bâton précédents. L'écart entre DM-DM, DM-WT et WT-WT est visible à nouveau. Il n'existe pas de différence significative de l'erreur entre les techniques. Ainsi, il n'existe pas de différence de fidélité (DM-DM versus WT-WT). Néanmoins l'erreur de DM-WT est significativement supérieure à 0.

Notre étude semble montrer que la fidélité, qui a été calculée comme étant la différence moyenne entre toutes les combinaisons de superposition au sein d'un groupe d'empreinte (37), des DM et des WT, sont a priori équivalentes. Il faut néanmoins le pondérer en comparant le nombre de DM réalisée par rapport aux WT. Nous savions avant l'étude que les DM pour empreinte cavitaire étaient reproductibles, nous pouvons dire maintenant que c'est également le cas pour les WT.

Les recalages entre DM et WT, comprennent un plus grand nombre d'erreurs posant des questions sur la justesse de la WT, la DM étant considérée comme la référence.

Nous souhaitons comparer les valeurs de la MAE et de la MSE dans les différents échantillons pour mieux comprendre les résultats.

Pour cela nous appliquons un code couleur au tableau présenté plus tôt afin qu'il soit plus lisible.

- En **vert**, nous avons surligné notre référence en terme d'exactitude (justesse et fidélité) (11) à savoir DM1-DM2. Elle est de 0,0545 pour le MAE et 0,0048 pour le MSE

- En **bleu**, toutes les valeurs inférieures à la référence (c'est à dire ayant une meilleure justesse ou fidélité).

- En **jaune**, toutes les valeurs supérieures à la valeur de référence mais inférieures à 1,3 fois la valeur référence. La borne supérieure est arbitraire mais permet de distinguer les valeurs se rapprochant de la valeur de référence. Elle est de 0,0709 pour le MAE et de 0,0063 pour le MSE.

- En **rouge**, toutes les valeurs supérieures à 1,3 fois la valeur référence.

Ceci fait, nous remarquons une généralité de valeurs inférieures à la valeur de référence hormis quelques écarts dispersés sur l'ensemble des matchings.

En revanche nous observons que toutes les valeurs du MSE concernant les matchings DM-WT avec pour référence DM4 sont rouges.

Résultats du matching des STL de la dent numéro 25

Numéro de l'échantillon	Numéro des dents matchées	Mean Absolute Error	Mean Squared Error
1	25-DM1-DM2	0,0545	0,0048
3	25-DM4-DM5	0,0293	0,0027
1	25-DM1-WT1	0,0292	0,0018
	25-DM1-WT2	0,0544	0,0053
2	25-DM3-WT8	0,0505	0,0060
	25-DM3-WT9	0,0347	0,0026
	25-DM3-WT10	0,0363	0,0029
	25-DM3-WT11	0,0300	0,0020
	25-DM3-WT12	0,0620	0,0137
	25-DM3-WT13	0,0340	0,0022
	25-DM3-WT14	0,0233	0,0012
	25-DM3-WT15	0,0696	0,0085
3	25-DM3-WT16	0,0341	0,0039
	25-DM4-WT17	0,0724	0,0272
	25-DM4-WT18	0,0410	0,0097
	25-DM4-WT19	0,0465	0,0120
	25-DM4-WT20	0,0597	0,0105
	25-DM4-WT21	0,0612	0,0204
	25-DM5-WT17	0,0552	0,0165
	25-DM5-WT18	0,0356	0,0052
	25-DM5-WT19	0,0350	0,0062
	25-DM5-WT20	0,0398	0,0046
25-DM5-WT21	0,0451	0,0124	
1	25-WT1-WT2	0,0544	0,0054
2	25-WT9-WT8	0,0509	0,0060
	25-WT9-WT10	0,0235	0,0014
	25-WT9-WT11	0,0318	0,0019
	25-WT9-WT12	0,0599	0,0127
	25-WT9-WT13	0,0352	0,0025
	25-WT9-WT14	0,0257	0,0013
	25-WT9-WT15	0,0642	0,0085
	25-WT9-WT16	0,0313	0,0034
3	25-WT20-WT17	0,0453	0,0068
	25-WT20-WT18	0,0417	0,0037
	25-WT20-WT19	0,0405	0,0035
	25-WT20-WT21	0,0484	0,0058

Tableau 6: Tableau hiérarchisant les MAE et MSE

Pour aller plus loin nous avons souhaité connaître le maximum d'écart en millimètres entre deux points en fonction des différents recalages.

Pour cela nous avons analysé chaque matching, suivant un angle de vision occlusal et latéral prédéfini et cohérent afin de pouvoir les comparer. (15)

Le logiciel Cloud compare® ne donnant pas de valeur de distance mais seulement une échelle avec une unité arbitraire nous avons dû l'estimer autrement ce qui abouti à une valeur qui ne peut être qu'approximative.

Nous avons procédé comme suit :

261 pixels équivaut à 8.5 u.a dans le logiciel Cloud Compare®. (cf image ci-dessous).

Le diamètre du tenon PIVOMATIC® jaune mesure 1.3mm et représente 30 pixels dans Cloud Compare®. Nous pouvons déduire que le diamètre du tenon équivaut à 0.977 u.a. et que 1mm représente 0.75 u.a.

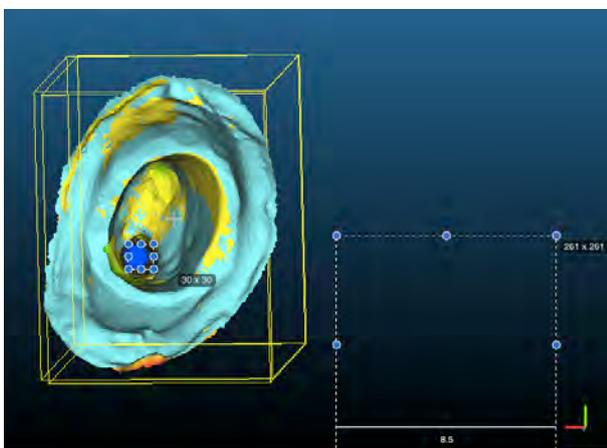


Figure 25: CE de la vue apicale du matching de DM4 -WT17

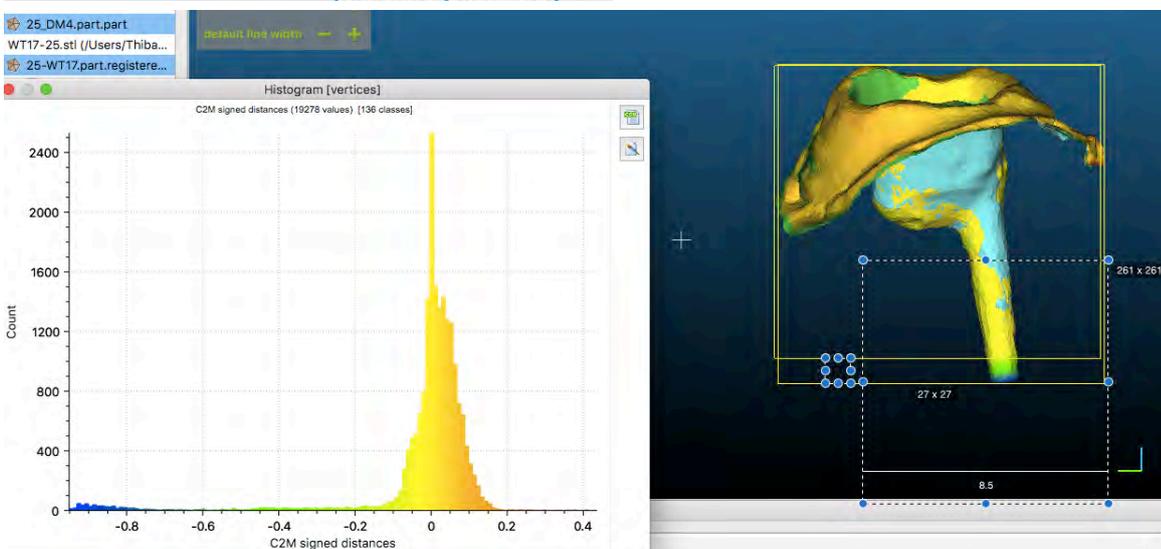


Figure 26: CE de la vue latérale du matching de DM4-WT17

Pour désormais estimer la différence d'enfoncement du tenon, nous prenons une autre vue et nous appliquons la même méthode.

Dans ce cas où nous comparons DM4 et WT7, c'est le recalage qui présente le plus grand MSE, et l'écart d'enfoncement du tenon est de 1.17mm.

4. DISCUSSION

Concernant le matériel utilisé :

L'étude a été réalisée au centre de soin de l'Hôtel-Dieu et nous étions donc dépendant du marché de l'hôpital (porte-empreinte, silicones lourd/léger). Ainsi nous n'avons pu respecter les conditions idéales à savoir un porte-empreinte rigide, les portes-empreintes disponibles étant en plastique et non en fer. Cependant il a été signalé que le matériau d'empreinte avait plus d'influence sur la pression exercée que la conception du porte-empreinte. (53)

Il nous manquait également la présence d'adhésif pour silicone, les perforations du porte-empreinte permettaient d'assurer une rétention convenable cliniquement pour le retrait. Nous ne disposions pas d'auto-mélangeur également renforçant l'intérêt de la manipulation par une même personne.

Concernant la taille des échantillons :

Dans cette étude après avoir réalisé trois modèles et préparé 6 dents, nous avons décidé de nous concentrer uniquement sur la dent numéro 25. Cela, pour ne pas avoir trop d'informations à interpréter pour une étude pilote.

Cependant, augmenter le nombre de dents observées nous aurait permis de valider la technique sur l'arcade entière et non une dent unique.

La cohorte des double-mélanges est basse, la bibliographie recommandant de réaliser les empreintes 15 fois chacune (54) (28), ce qui ne nous permet pas d'avoir des résultats satisfaisants concernant la fidélité de cette technique. Bien qu'il faille statistiquement augmenter ce nombre, la double mélange est le gold standard pour ce type d'empreinte. Le désavantage d'un faible nombre de DM, même si cela fait partie du gold standard, est qu'une erreur technique sur une empreinte (DM4) compromette les résultats de la fidélité de 5 matchings DM-WT c'est-à-dire un quart de notre échantillon.

L'une des possibilités pour s'abroger des DM aurait été de scanner directement le modèle, seulement le scanner de laboratoire ne permet pas l'enregistrement complet du logement canalair. Une autre technique aurait été de passer le modèle dans un Cone-Beam CT.

Concernant le protocole :

Afin de ne pas dépendre de la variable inter-individuelle, une attention particulière a été apportée pour que les manipulations soient faites par le même opérateur pour chacune des étapes, notamment la numérisation et les empreintes. (46)

L'examen du recalage des empreintes montre des disparités concernant le positionnement du tenon (**figures 27 à 31**).

Considérons dans un premier temps le sens vertical c'est-à-dire l'enfoncement du tenon. Cette imprécision peut s'expliquer par le protocole de l'empreinte consistant à ne pas enfoncer complètement le tenon puis lorsque le light est mis dans la cavité on appuie sur ce dernier pour qu'il soit complètement en place. Le light gênant l'observation visuelle, le tenon peut ne pas être dans la bonne position. Une adaptation possible serait de le positionner complètement avant de faire la deuxième étape d'empreinte.

Une autre explication serait qu'à force de répétitions une abrasion dentinaire ait eu lieu aboutissant à un logement canalaire moins bien adapté au tenon compliquant sa bonne mise en place.

Ceci est à nuancer car les empreintes par double mélange ont aussi eu une disparité d'enfoncement du tenon sur certains recalages.

Cet examen montre aussi un défaut de recalage dans le sens horizontal concernant la zone du tenon. (cf. image comparant DM4-WT17). Il y aurait donc eu une déformation de l'empreinte rebasée.

Cette empreinte rebasée nécessite un aménagement de l'empreinte réalisé dans un premier temps avec un retrait complet du silicone lourd autour de la préparation cavitaire. Cette action est opposée avec la recommandation (1) qui veut que pour diminuer au maximum la récupération élastique au retrait de l'empreinte du silicone light, il doit être mis en épaisseur modérée. (54)

Ce phénomène est aussi observable pour les comparaisons de DM (cf **figure 29**) et il est moins important que celui concernant l'enfoncement du tenon, ce qui tendrait à signifier que l'adaptation du protocole doit avoir pour but un meilleur positionnement du tenon concernant son enfoncement.

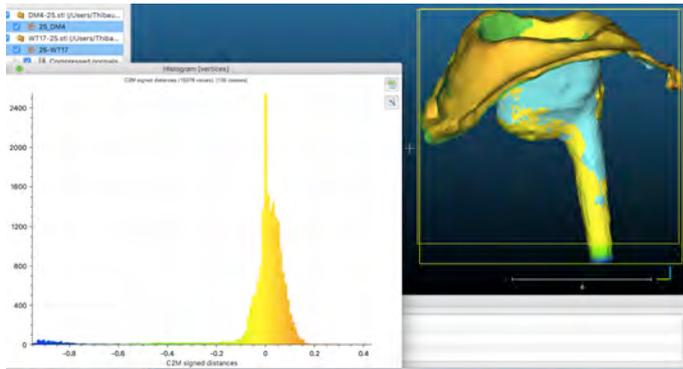


Figure 27: CE en vue latérale du matching DM4-WT17: on note la différence d'enfoncement du tenon

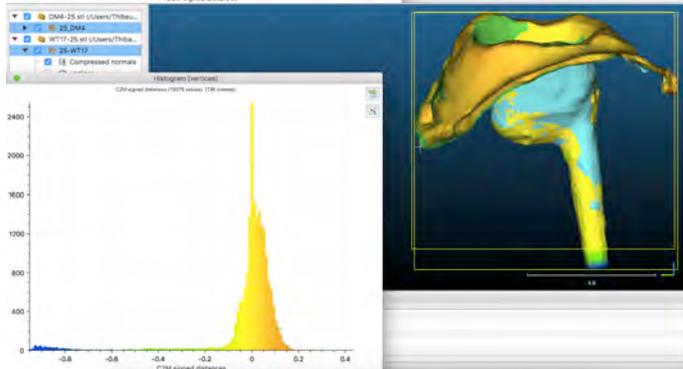


Figure 28: CE en vue latérale du matching DM4-WT18: on note la différence d'enfoncement du tenon et l'allure différente de la courbe de distribution des valeurs par rapport à la figure 27

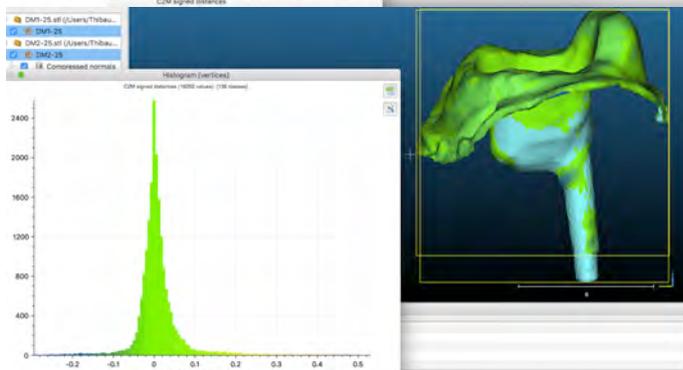


Figure 29: CE en vue latérale du matching DM1-DM2: on note la différence d'enfoncement du tenon perçu comme une valeur positive (0,5)

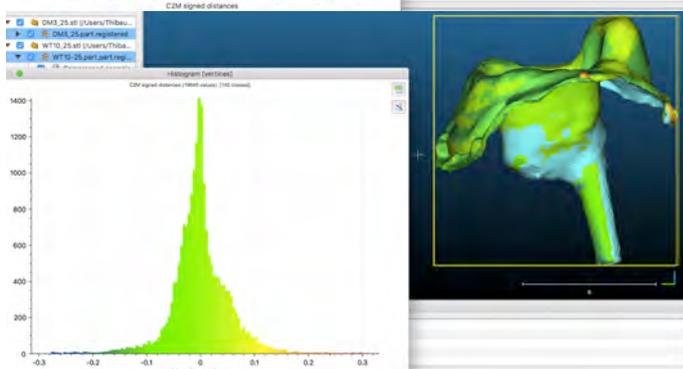


Figure 30: CE en vue latérale du matching DM3-WT10: on note la différence au niveau horizontal du tenon

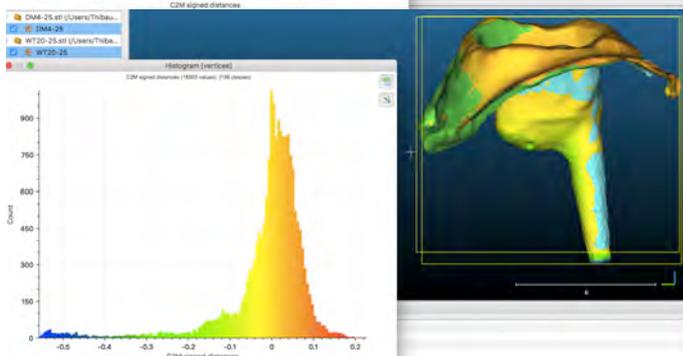


Figure 31: CE en vue latérale du matching DM4-WT20: on note une différence combinée, verticale et horizontale

Nous aurions pu améliorer la reproductibilité en tirant au sort les empreintes à réaliser. En effet, nous avons systématiquement commencé par réaliser les DM puis nous passions aux empreintes par WT. La courbe d'apprentissage était en faveur des WT même s'il pouvait y avoir un facteur fatigue sur les dernières WT, ce sont des facteurs qui sont inquantifiables et qu'il aurait été bon de remettre au hasard.

Les dates étant assez éloignées, il ne faisait pas la même température dans la salle entre mi-juillet et fin septembre, influant sur le temps de prise du matériau. Nous avons heureusement scrupuleusement respecté les temps de prise puisque nous les avons doublés pour plus de sécurité. Nous avons malaxé les silicones avec les mains nues précédemment lavées donc pas de risque d'inhibition de prise du silicone.

Concernant l'interprétation statistique :

Le ME n'a pas été très utilisé pour l'interprétation car il ne permet que de fausses représentations résultant du calcul des moyennes des valeurs positives et négatives (qui peuvent entraîner des écarts plus faibles), il permet juste de voir la bonne répartition des erreurs entre positifs et négatifs, nous avons donc préféré utiliser les valeurs absolues des distances observées. (55)

La valeur absolue de l'EMA empêche de pouvoir discriminer les erreurs positives, des négatives alors que ça aurait été intéressant pour les empreintes cavitaires, leurs principaux reproches étant une trop forte compression. On se serait donc attendu à des valeurs négatives (avec la DM en référence) entraînant des restaurations avec des contacts prématurés et des restaurations bloquées avant d'être en place (41) (des inlay-cores par exemple).

Le problème pour la MSE cette fois est que, comme dit plus haut, lorsque le tenon était inégalement enfoncé, l'erreur étant importante, elle donnait des valeurs très importantes (**tableau 3**).

Une autre zone critique est la limite de préparation car c'est suivant cette limite que la segmentation de la dent a été faite. Ainsi certaines zones peuvent ne pas être présentes entre deux STL et ainsi dans ces zones, on ne peut pas se fier à la mesure de la différence pour trouver le voisin signé le plus proche. (38)

Pour ces deux difficultés l'utilisation du (90 percentile -10 percentile) (37)(38) aurait été intéressante puisqu'elle nous aurait permis d'éliminer les différences les plus extrêmes entre deux STL. Cependant on aurait pu passer sous silence des erreurs ponctuelles importantes sur la zone interprétée.

L'hypothèse sous-jacente à la présentation de la MSE est que les erreurs sont non biaisées et suivent une distribution normale. Pour d'autres types de distributions, la moyenne, la variance, l'asymétrie (Skewness : coefficient d'asymétrie) et l'aplatissement (Kurtosis), sont nécessaires pour fournir une image complète de la variation des erreurs de modèle. (51)

Cela aurait pu déceler une régionalisation différente des erreurs par exemple.

Il aurait été possible d'utiliser le coefficient d'asymétrie (Skewness) qui est un estimateur basé sur les trois premiers moments de l'ensemble des données et est donc fortement affecté par la présence d'une ou plusieurs valeurs aberrantes. (56)

Cela aurait permis de comparer les queues de distribution de notre courbe de Gauss, l'asymétrie nulle (=0) aurait signifié qu'elles étaient égales. (57)

La formule (58) de l'entropie de Shannon aurait été intéressante à analyser, elle est considérée comme une mesure de complexité d'une structure déterministe dans un système dynamique (59). Plus la structure déterministe est complexe, plus la valeur de l'entropie est élevée. (60)

Elle aurait donc permis de déceler des anomalies locales, indétectables avec les MAE et MSE.

Concernant l'aspect clinique :

Cette recherche présente des lacunes comme celles de toute étude *in vitro* (35), L'environnement de la cavité buccale ne peut être reproduit de manière optimale *in vitro*. Il manque l'effet des fluides buccaux (41), de la gravité, des tissus mous et des différentes formes d'arcades qui impactent nécessairement différemment les empreintes DM et WT.

CONCLUSION

L'idée de cette étude vient d'un constat clinique, l'empreinte en double mélange pour l'enregistrement des logements pour inlay-core peut être parfois compliquée. Le manque de temps et de mains pour sécher la cavité, enduire la préparation et le porte-empreinte font partie de ces complications. Ainsi l'une des solutions semble être l'empreinte en deux temps ; la wash technique.

Après avoir adapté le protocole de la wash technique pour cet exercice nous avons procédé à plusieurs jeux d'empreintes afin de valider notre protocole. Le but est de vérifier la fidélité et la justesse de cette technique. Cette étude semble montrer la fidélité de l'empreinte par wash technique. Des études complémentaires sont néanmoins nécessaires pour analyser la justesse de cette technique comparée au gold standard qu'est l'empreinte double mélange.

Signature président du jury :



Pr KEMOUN

Signatures co-directeurs de thèse :



Dr. KOUAME
Dr. C. MAURIN

BIBLIOGRAPHIE :

1. Mann K, Davids A, Range U, Richter G, Boening K, Reitemeier B. Experimental study on the use of spacer foils in two-step putty and wash impression procedures using silicone impression materials. *J Prosthet Dent.* avr 2015;113(4):316-22.
2. Zunzarren R. *Guide clinique d'odontologie.* Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2014. 336 p.
3. Périé B, Delphine B, Bohin F. Comment éviter le tirage? *Strat proth.* 2004;363-8.
4. Hosmalin R. Conception, réalisation de prothèse fixée par CFAO indirecte.
5. Donovan TE, Chee WWL. A review of contemporary impression materials and techniques. *Dent Clin North Am.* avr 2004;48(2):vi-vii, 445-70.
6. Rubel BS. Impression materials: a comparative review of impression materials most commonly used in restorative dentistry. *Dent Clin North Am.* juill 2007;51(3):629-42, vi.
7. O'Brien WJ. *Dental Materials and Their Selection.* Quintessence Publishing Company; 1997. 440 p.
8. Kanehira M, Finger WJ, Endo T. Volatilization of components from and water absorption of polyether impressions. *J Dent.* févr 2006;34(2):134-8.
9. Powers JM, Wataha JC. *Dental Materials: Properties and Manipulation.* Elsevier Health Sciences; 2014. 248 p.
10. Darvell BW. Flexible Impression Materials. In: *Materials Science for Dentistry.* Elsevier; 2018. p. 192-230.
11. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results—Part 1: General principles and definitions (ISO 5725-1:1994). Geneva International Organ Stand [Internet]. 1994;
12. Chandran DT, Jagger DC, Jagger RG, Barbour ME. Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. *Biomed Mater Eng.* 2010;20(5):243-9.
13. Ziegler M. Digital impression taking with reproducibly high precision. *Int J Comput Dent.* 2009;12(2):159-63.
14. Guichard P. Caractérisation de l'exactitude et comparaison de trois analyseurs de N2O. :49.

15. Nedelcu R, Olsson P, Nyström I, Thor A. Finish line distinctness and accuracy in 7 intraoral scanners versus conventional impression: an in vitro descriptive comparison. *BMC Oral Health* [Internet]. déc 2018;18(1).
16. Chen SY, Liang WM, Chen FN. Factors affecting the accuracy of elastometric impression materials. *J Dent*. nov 2004;32(8):603–9.
17. Chai J, Takahashi Y, Lautenschlager EP. Clinically relevant mechanical properties of elastomeric impression materials. *Int J Prosthodont*. juin 1998;11(3):219–23.
18. Perakis N, Belser UC, Magne P. Final impressions: a review of material properties and description of a current technique. *Int J Periodontics Restorative Dent*. avr 2004;24(2):109–17.
19. Millet P, Weiss P. Propriétés physiques des matériaux dentaires. :22.
20. Descamp F. Pratique de l’empreinte en prothèse fixée - Editions CdP: Du pilier naturel à l’implant. Des techniques classiques à la CFAO. Initiatives Sante; 2015. 260 p.
21. Corso M, Abanomy A, Di Canzio J, Zurakowski D, Morgano SM. The effect of temperature changes on the dimensional stability of polyvinyl siloxane and polyether impression materials. *J Prosthet Dent*. juin 1998;79(6):626–31.
22. Berteretche M. Prothèses et matériaux d’empreintes. *Dossiers ADF*. 2007;
23. Berg JC, Johnson GH, Lepe X, Adán-Plaza S. Temperature effects on the rheological properties of current polyether and polysiloxane impression materials during setting. *J Prosthet Dent*. août 2003;90(2):150–61.
24. Lee EA. Predictable elastomeric impressions in advanced fixed prosthodontics: a comprehensive review. *Pract Proced Aesthetic Dent PPAD*. oct 2007;19(9):529–36; quiz 537, 565.
25. Causton BE, Burke FJ, Wilson NH. Implications of the presence of dithiocarbamate in latex gloves. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater*. mai 1993;9(3):209–13.
26. Punj A, Bompolaki D, Garaicoa J. Dental Impression Materials and Techniques. *Dent Clin North Am*. 1 oct 2017;61(4):779–96.
27. Marchand M. Etude comparative de matériaux silicone A utilisés en prothèse fixée. Reims; 2009.
28. Caputi S, Varvara G. Dimensional accuracy of resultant casts made by a monophasic, one-step and two-step, and a novel two-step putty/light-body impression technique: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. avr 2008;99(4):274–81.

29. Nissan J, Laufer BZ, Brosh T, Assif D. Accuracy of three polyvinyl siloxane putty-wash impression techniques. *J Prosthet Dent.* févr 2000;83(2):161-5.
30. Levartovsky S, Zalis M, Pilo R, Harel N, Ganor Y, Brosh T. The effect of one-step vs. two-step impression techniques on long-term accuracy and dimensional stability when the finish line is within the gingival sulcular area. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* févr 2014;23(2):124-33.
31. Rathee S. A Comparison of Dimensional Accuracy of Addition Silicone of Different Consistencies with Two Different Spacer Designs - In-vitro Study. *J Clin Diagn Res.* 2014;
32. Luthardt RG, Walter MH, Quaas S, Koch R, Rudolph H. Comparison of the three-dimensional correctness of impression techniques: a randomized controlled trial. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. déc 2010;41(10):845-53.
33. Franco EB, da Cunha LF, Herrera FS, Benetti AR. Accuracy of Single-Step versus 2-Step Double-Mix Impression Technique. *ISRN Dent.* 2011;2011:341546.
34. Haralur SB, Saad Toman M, Ali Al-Shahrani A, Ali Al-Qarni A. Accuracy of Multiple Pour Cast from Various Elastomer Impression Methods. *Int J Dent.* 2016;2016:1-6.
35. Pande NA, Parkhedkar RD. An Evaluation of Dimensional Accuracy of One-Step and Two-Step Impression Technique Using Addition Silicone Impression Material: An In Vitro Study. *J Indian Prosthodont Soc.* 10 oct 2012;
36. Empreinte | Prothèse ET Esthétique | PHARMA | Acteon [Internet]. Disponible sur: <https://www.acteongroup.com/fr/produits/pharma/prothese-et-esthetique/empreinte-1-1>
37. Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent.* 2011;14(1):11-21.
38. Ender A, Mehl A. Accuracy of complete-arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. *J Prosthet Dent.* févr 2013;109(2):121-8.
39. Walter B. Prothèse fixée: approche clinique. Éditions CdP. Éditions CdP. 2016.
40. Chugh A, Arora A, Singh VP. Accuracy of different putty-wash impression techniques with various spacer thickness. *Int J Clin Pediatr Dent.* janv 2012;5(1):33-8.
41. Zimmermann M, Ender A, Mehl A. Local accuracy of actual intraoral scanning systems for single-tooth preparations in vitro. *J Am Dent Assoc.* févr 2020;151(2):127-35.

42. Ender A, Zimmermann M, Attin T, Mehl A. In vivo precision of conventional and digital methods for obtaining quadrant dental impressions. *Clin Oral Investig.* sept 2016;20(7):1495–504.
43. Ender A, Mehl A. Accuracy in Dental Medicine, A New Way to Measure Trueness and Precision. *J Vis Exp.* 29 avr 2014;(86).
44. Ender A, Mehl A. In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. janv 2015;46(1):9–17.
45. Mode d'emploi du 7Series. :46.
46. Michelinakis G, Apostolakis D, Tsagarakis A, Kourakis G, Pavlakis E. A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. *J Prosthet Dent.* déc 2019;
47. Galizzi M, Richert R. Evaluation de la précision des scanners optiques intra-oraux: mise au point d'un protocole. *Les cahiers de prothèse n°180* Décembre 2017.
48. Favero R, Volpato A, Francesco MD, Fiore AD, Guazzo R, Favero L. Accuracy of 3D digital modeling of dental arches. *Dent Press J Orthod.* févr 2019;24(1):038e1-037e7.
49. Galizzi M. PRECISION DE L'EMPREINTE OPTIQUE EN 2017 REVUE DE LITTÉRATURE ET MISE EN PLACE D'UN PROTOCOLE D'ETUDE
50. Flügge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* sept 2013;144(3):471–8.
51. Chai T, Draxler RR. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci Model Dev.* 30 juin 2014;7(3):1247–50.
52. Güth J-F, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig.* mai 2013;17(4):1201–8.
53. Al-Ahmad A, Masri R, Driscoll CF, von Fraunhofer J, Romberg E. Pressure generated on a simulated mandibular oral analog by impression materials in custom trays of different design. *J Prosthodont Off J Am Coll Prosthodont.* avr 2006;15(2):95–101.

54. Naumovski B, Kapushevska B. Dimensional Stability and Accuracy of Silicone – Based Impression Materials Using Different Impression Techniques – A Literature Review. *PRILOZI*. 1 sept 2017;38(2):131–8.
55. Joós-Kovács G, Vecsei B, Körmendi Sz, Gyarmathy VA, Borbély J, Hermann P. Trueness of CAD/CAM digitization with a desktop scanner – an in vitro study. *BMC Oral Health* [Internet]. déc 2019;19(1).
56. Brys G, Hubert M, Struyf A. A Robust Measure of Skewness. *J Comput Graph Stat*. déc 2004;13(4):996–1017.
57. Skewness -- from Wolfram MathWorld [Internet]. Disponible sur: <https://mathworld.wolfram.com/Skewness.html>
58. Zighed DA, Marcellin S, Ritschard G. Mesure d'entropie asymétrique et consistante. :7.
59. Bizovska L, Svoboda Z, Vuillerme N, Janura M. Multiscale and Shannon entropies during gait as fall risk predictors-A prospective study. *Gait Posture*. 2017;52:5–10.
60. Li X, Ouyang G, Yao X, Guan X. Dynamical characteristics of pre-epileptic seizures in rats with recurrence quantification analysis. *Phys Lett A*. 29 nov 2004;333(1):164–71.

**EMPREINTE REBASEE POUR INLAY-CORE :
PROTOCOLE ET FAISABILITE**

RESUME EN FRANCAIS :

L’empreinte cavitaire par double mélange peut s’avérer compliquée dans certaines situations (sans assistant(e), multiple, etc...) induisant des erreurs irrattrapables. Dans ces conditions, des praticiens utilisent la wash-technique avec succès. L’analyse de la littérature nous a permis de dégager un protocole fiable et reproductible. Il a été réalisé et enregistré avec un scanner de laboratoire produisant des STL qui ont été recalés 2 par 2 à l’aide du logiciel Cloud Compare®. Leurs exactitudes (justesse et fidélité) ont été évaluées. La fidélité de la wash-technique semble identique à la double mélange ; l’analyse de sa justesse demande des investigations complémentaires.

TITRE EN ANGLAIS: REBASED INLAY-CORE IMPRESSION: PROTOCOL AND FEASIBILITY

RESUME EN ANGLAIS:

Cavity impression using a double mixing technique can be difficult in some situations (without assistant, multiple cavities, etc...) inducing irremediable errors. To avoid these difficulties, dentists use the wash-technique successfully. Using literature, we identified a reliable and reproductible protocol. It was carried out and recorded with a laboratory scanner producing STL which were registered 2 by 2 using the Cloud Compare® software. Their accuracies (precision and trueness) were evaluated. Wash-technique’s precision seems similar to double-mixing whereas trueness needs some additional experiments.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie Dentaire

MOTS-CLES : Empreinte rebasée, wash-technique, double mélange, Cloud compare, scanner de laboratoire, STL, exactitude, justesse, fidélité, inlay-core, silicone par addition, light, putty, matching, recalage, protocole, punch, puits d’échappement

INTITULE ET ADRESSE DE L’UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier
Faculté de chirurgie dentaire 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse Cedex

Directeurs de thèse : Dr Paul MONSARRAT et Dr Damien OSTROWSKI
