UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER

FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNEE 2021

2021 TOU3 3076

THESE

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRUGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

UDAR Manon

le 10 Décembre 2021

Proportions d'émail et de dentine disponibles pour le collage de facettes vestibulaires pelliculées : validation de méthode et évaluation ex vivo

Directeurs de thèse : Drs. Antoine GALIBOURG et Thibault CANCEILL

JURY

Présidente : Professeur Cathy NABET

1er assesseur : Docteur Antoine GALIBOURG

2^{ème} assesseur : Docteur Thibault CANCEILL

3^{ème} assesseur : Docteur Julien DELRIEU





Faculté de Chirurgie Dentaire

DIRECTION

DOYEN

M. Philippe POMAR

ASSESSEUR DU DOYEN

Mme Sabine JONIOT

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

DIRECTRICE ADMINISTRATIVE

Mme Muriel VERDAGUER

PRÉSIDENTE DU COMITÉ SCIENTIFIQUE

Mme Cathy NABET

→ HONORARIAT

DOYENS HONORAIRES

M. Jean LAGARRIGUE +
M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

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)

-

PERSONNEL ENSEIGNANT

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 NOIRRIT-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants: Mme Marion GUY-VERGER, Mme Alice BROUTIN (associée)

Adjoints d'Enseignement: M. Sébastien DOMINE, M. Robin BENETAH, M. Mathieu TESTE,

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, M. Jean-Noël VERGNES

Assistante: Mme Géromine FOURNIER

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mile. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Fabien BERLIOZ

M. Jean-Philippe GATIGNOL, Mme Carole KANJ

Section CNU 57: Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

57.01 CHIRURGIE ORALE, PARODONTOLOGIE, BIOLOGIE ORALE (M. Philippe KEMOUN)

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences 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: Mme Inessa TIMOFEEVA, M. Matthieu MINTY, Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS

Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Olivier DENY

Section CNU 58: Réhabilitation Orale

58.01 DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX (M. Franck DIEMER)

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER

Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE
Assistants : M. Jérôme FISSE, M. Sylvain GAILLAC, Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT

M. Ludovic PELLETIER, M. Nicolas ALAUX

Adjoints d'Enseignement: M. Eric BALGUERIE, M. Jean-Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR

Maîtres de Conférences : M. Jean CHAMPION, M. Rémi ESCLASSAN, M. Florent DESTRUHAUT, M. Antoine GALIBOURG,

Assistants: Adjoints d'Enseignement : M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION, Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE
M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-

Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER,

M. Eric SOLYOM, M. Michel KNAFO, M. Alexandre HEGO DEVEZA, M. Victor EMONET-DENAND

M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONIOT, M. Karim NASR, M. Paul MONSARRAT, M. Thibault CANCEILL

Assistants: M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES, Mme. Julie FRANKEL

Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, Mme Josiane BOUSQUET, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 01 novembre 2021

A toi, Maman, merci pour ton soutien inconditionnel durant toutes ces années d'étude, merci d'être présente pour tous les moments de ma vie, sans toi je ne serais pas là où je suis aujourd'hui. Merci pour tout cet amour et cette force que tu me donnes, je t'aime.

A toi, Papa, merci pour tout l'amour que tu me donnes, je suis si heureuse que tu puisses être là en ce jour. Et à toi, Marie merci d'être présente pour moi depuis toutes ces années. Je vous aime.

A Colas, merci pour ton aide précieuse tout au long de cette thèse, merci d'être là dans les bons moments comme dans les moins bons, merci d'être toi tout simplement. Je mesure la chance que j'ai de t'avoir dans ma vie. Merci aussi à tes parents et à tes sœurs de m'avoir si bien accueillie dans votre famille.

A Colleen, mon amie de toujours. Merci d'avoir été présente depuis toutes ces années, merci d'être cette personne exceptionnelle que tu es. Tu es pour moi bien plus qu'une amie, ma sœur de cœur.

A Clara, mon amie depuis le lycée, toujours à mes côtés, nous avons passé nos dures années de PACES et d'étude ensemble, maintenant le meilleur reste à venir. A tous les bons moments (et les moins bons) qu'on a passés ensemble, tu sais que je serais toujours là pour toi.

A Lucie (ma colloc d'amour), à Noémie (ma voisine préférée), à notre trio, merci pour tous ces beaux moments, ces voyages, ces soirées, ces discussions jusqu'au bout de la nuit... Merci d'être ces filles que j'aime tant.

A mon amie Manon, je me rappellerais toujours de notre rencontre à la sortie du métro avec tous nos polys sur les bras... grâce à toi ces deux années de PACES auront été plus douces, à deux nous étions plus fortes. Hâte de fêter ton futur doctorat et bien plus encore.

A Julie, merci pour tous ces beaux souvenirs en Espagne ou dans les Canaries, pour toutes ces fêtes de Brassac loupées.... même si on ne se voit pas autant qu'on le voudrait, tu comptes beaucoup pour moi.

A tous les Ploucs : Manon, Mathilde, Mehdi, Maxence, Charles, Martin, Paul, Thomas, Kevin, Pierre, Alexandre, Dine, Lucas. Merci pour toutes ces belles années étudiantes que vous avez rendues inoubliables et hâte de tout ce qui va suivre.

A Thibault, merci pour tout : pour ton aide, ta bienveillance, tes conseils pendant toutes ces années de clinique. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir choisie pour t'aider durant mes années de clinique, je t'en serais toujours reconnaissante. Je te souhaite une belle carrière universitaire et plein de bonheur dans ta vie personnelle.

A Diane, Guillaume, Anne-Laure et Marie : merci de m'avoir fait confiance dans mes débuts professionnels, merci de m'avoir guidée avec bienveillance.

A ma Marraine de cœur Denise, à ma Filleule d'amour Adèle, et à toutes les personnes que je n'ai pas citées mais qui sont dans mon cœur, merci.

A notre Présidente du jury,

Madame le Professeur Cathy NABET,

- Professeur des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Diplôme d'Etudes Approfondies de Santé Publique Epidémiologie,
- Docteur de l'Université Paris XI,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR),
- Lauréate de la Faculté de Médecine,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréate de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Vous nous faites l'honneur et le plaisir de présider cette thèse et nous vous en remercions.

Nous sommes très reconnaissants de votre disponibilité et de votre gentillesse témoignées tout au long de ces années d'études. Nous vous en remercions et vous témoignons notre plus grand respect.

A notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Antoine GALIBOURG,

- Maitre de conférence des Université, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Ingénieur de l'Institut Catholique des Arts et Métiers,
- Responsable du Diplôme d'Université d'Implantologie

Pour avoir accepté la direction de cette thèse et d'y avoir apporté votre expérience et vos compétences, nous vous remercions.

Soyez assuré de notre considération pour vos enseignements théoriques et cliniques et de votre bienveillance tout au long de la rédaction de ce travail.

Ces quelques lignes témoignent de l'expression de nos plus sincères remerciements et de notre profond respect.

A notre Directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Thibault CANCEILL,

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur en sciences des matériaux,
- Master 1 de Santé Publique,
- Master 2 de Physiopathologie,
- CES Biomatériaux en Odontologie,
- D.U.de conception Fabrication Assisté par ordinateur en Odontologie (CFAO),
- D.U. de Recherche Clinique en Odontologie,
- Attestation de Formation aux gestes et Soins d'Urgence Niveau 2

Ce fut pour nous une évidence de vous avoir en tant que directeur de thèse tant nous avons appréciés être accompagné et bénéficier tout au long de ces années d'études de votre expérience et de vos compétences.

Merci pour votre disponibilité, votre pédagogie, votre passion que vous avez su nous transmettre avec bienveillance et dans la bonne humeur.

Veuillez trouver ici le témoignage de notre profonde gratitude.

A notre jury de thèse,

Monsieur le Docteur Julien DELRIEU,

- Assistant Hospitalo-Universitaire,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- CES de Prothèse Fixée,
- Master 1 de Santé Publique,
- Master 2 d'Anthropologie intégrative,
- Assistant Hospitalier-Universitaire

Nous vous remercions de nous faire l'honneur de participer au jury de thèse.

Soyez sûr de l'expression de notre pleine reconnaissance et de nos sincères remerciements pour votre pédagogie, votre disponibilité et votre énergie.

Sommaire

Introduction	11
l- Matériels et méthodes	19
1- Design de l'étude	19
2- Préparation des échantillons	19
3- Préparation des dents	19
4- Traitement des images	21
5- Analyses statistiques	25
a) Reproductibilité des mesures :	25
b) Traitement des données :	25
6- Résultats	26
a) Echantillons	26
b) Validation de la méthode d'évaluation	26
c) Surface de dentine exposée lors de la préparation de facettes vestibulaires pelliculées	
(préparation semi-invasive ou étape dite mixte)	27
d) Surface de dentine exposée lors de la préparation de facettes vestibulaires pelliculées	
(préparation invasive)	27
e) Comparaison des mesures d'aires de dentine exposée entre les incisives centrales et	
latérales	
Discussion	29
Conclusion	37
Bibliographie	38
Table des illustrations	/11

Introduction

Les solutions thérapeutiques qui existent pour réhabiliter l'organe dentaire sont variées et ont un coût tissulaire. Ce dernier correspond à la quantité de dentine et d'émail qu'il est nécessaire de supprimer pour assurer la restauration de la dent. Une préparation coronopériphérique dans le secteur antérieur est par exemple un traitement relativement peu conservateur puisqu'il nécessite de préparer entre 63 et 72% du volume de la dent pour pouvoir sceller ou coller une couronne prothétique (1). La réalisation de couronnes n'est pour autant pas une alternative à proscrire parce qu'elle a des taux de succès et de survie respectivement de 98,3% et de 94% à 5 ans (2). Gil Tirlet et Jean-Pierre Attal sont partis de ce constat en 2009 pour proposer le concept de « Gradient Thérapeutique » qui énonce les différentes options thérapeutiques disponibles pour les dents naturelles antérieures en les classant de la moins mutilante à la plus mutilante (Figure 1). Le respect de cette classification permet une préservation tissulaire maximale et repousse l'échéance des traitements les moins conservateurs. De cette manière, les réinterventions sont possibles avec des options plus coûteuses en tissus dentaires que la précédente (3).

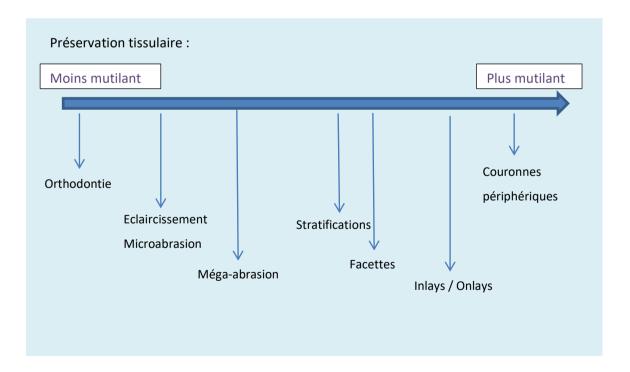


Figure 1 : Le « Gradient » thérapeutique. Classement des différentes thérapeutiques esthétiques dans le secteur antérieur sur un axe horizontal ; de la moins mutilante (à gauche) à la plus mutilante (à droite) (3)

La facette apparait comme la première étape de reconstitution indirecte dans ce Gradient Thérapeutique et constitue à ce titre, une solution prothétique esthétique *a minima*. Une facette dentaire est un dispositif médical sur mesure composé d'une fine pellicule de céramique ou de composite qui permet de modifier la teinte, la structure, la forme de la dent originale (4). Selon le principe du gradient thérapeutique, la facette ne sera pas proposée en première intention, il faudra ainsi envisager dans un premier temps une méthode moins invasive. L'orthodontie pourra être proposée en cas d'anomalie de position ; un éclaircissement s'il y a une anomalie de couleur ; ou encore une association de ces thérapeutiques puis évaluer les résultats avec le patient. Les facettes s'inscrivent ainsi dans une approche thérapeutique graduelle (3).

Plusieurs classifications ont été proposées pour justifier les indications des facettes. La classification décrite en 1997 par Urs Belser, Pascal Magne et Michel Magne (5) a été actualisée selon les données récentes de la science (6). Elle définit les 4 indications des facettes :

- Type I : Amélioration / Correction de couleur :
 - Type IA: Colorations dues aux tétracyclines de degré 3 et 4;
 - o Type 2B: Dents réfractaires à éclaircissement externe.
- Type II : Correction de forme :
 - Type IIA : Dents riziformes ;
 - Type IIB: Fermeture des diastèmes et des triangles noirs inter-dentaires;
 - Type IIIC : Allongement des bords libres.
- Type III : Anomalie de structure et restauration de grandes étendues :
 - Type IIIA: Fractures coronaires étendues;
 - Type IIIB : Perte d'émail de grande étendue par phénomène d'usure et/ou d'érosion ;
 - Type IIIC : Malformations acquises et congénitales de l'émail.

Malgré son caractère peu invasif, la réalisation de facettes est soumise à certaines contreindications :

- 1. Des malocclusions et contraintes occlusales (4) : forte surcharge occlusale, articulés inversés, bout à bout incisif, bruxisme (contre-indication relative) ;
- 2. Une perte de substance dentaire trop importante (4) : l'exposition résultante de plages de dentine réduirait les valeurs de collage et provoquerait un risque de micro-infiltrations au niveau des limites de préparation dentinaire ;
- 3. La couleur au-delà d'une modification de plus de deux teintes (7): pour une épaisseur de 0,5 à 0,6 mm de céramique, il est possible d'obtenir une correction d'une à deux teintes maximum. Au-delà, il faut obtenir une épaisseur de facettes plus importante et retirer plus d'émail. Il est alors recommandé de réaliser préalablement un blanchiment dentaire ou d'envisager une autre solution thérapeutique ;
- Les malpositions majeures : un traitement orthodontique préalable est indispensable
 (7);
- 5. Une maladie parodontale active (8);
- 6. Et des contre-indications relatives : manque d'hygiène (7), tabagisme (9)...

Il existe différentes formes de préparation de facettes (Figure 2, d'après le site internet réalisé à la Faculté de Toulouse (10)): la préparation vestibulaire (type 1 ou « window prep »), la préparation avec réduction du bord libre sans retour palatin (type 2 ou « butt margin »), la préparation avec réduction du bord libre et retour palatin (type 3 ou « incisal overlap »), la préparation avec élimination des points de contact (type 4 ou « 360° veneer ») et sans préparation (« no prep »).





Figure 2 : Modélisation 3D de l'évolution de la préparation des dents en fonction du type de facettes avec de gauche à droite la window prep, la butt margin, l'incisive overlap et la 360° veneer en vue vestibulaire (en haut) et en vue latérale (en bas) (10)

Dans la « window prep », seule la face vestibulaire est concernée, le bord incisif est conservé. La face est préparée sur une épaisseur de 0,4 à 0,6 mm maximum pour tenter de conserver un minimum de 50% de surface amélaire. En effet, une préparation comprenant entre 50 et 70% de surface amélaire assurerait une adhésion durable (7,11,12). De plus, conserver un bandeau d'émail périphérique sur la préparation permettrait une meilleure prédictibilité de l'adhésion (7,11,12) et éviterait l'apparition de phénomènes de microinfiltrations qui altéreraient la qualité et l'esthétique du joint de collage dans le temps (13).

Ce type de facette permet une préservation tissulaire maximale : plus de 80% du tissu dentaire serait conservé, avec une exposition dentinaire qui serait comprise entre 10 et 20% seulement mais les données restent imprécises à ce sujet (12). Il réduit le risque de microinfiltration, l'émail étant peu préparé. Ce type de préparation empêchant cependant une modification importante de la morphologie dentaire, elle ne permet pas de masquer les dyschromies trop prononcées (modification jusqu'à deux teintes (7)). De plus, il y a un possible écaillage de l'émail au niveau du bord libre causé par une fatigue cyclique (14).

Le protocole de préparation de ce type de facettes comprend 3 grandes étapes (4,15,16) :

- 1. L'analyse du sourire qui se retranscrit par la réalisation d'un wax-up représentant le projet esthétique en cire ;
- La réalisation d'un mock-up en résine qui permet la validation du projet esthétique par le patient;
- 3. La préparation de la facette en tant que telle à travers le mock-up au niveau de la face vestibulaire. Une extension gingivo-proximale (concavité en direction palatine) est réalisée pour ne pas laisser apparaître la limite dent / facette (5,17). Aucune préparation du bord libre n'est réalisée pour ce type de facette.

Après ces étapes de préparation viendront les étapes d'enregistrement, de conception et d'assemblage ; le collage étant une étape déterminante pour la pérennité de la facette.

Le protocole et les performances de collage sont variables en fonction du tissu dentaire sur lequel sont collées les facettes. Il est reconnu que l'émail est plus propice à recevoir un collage que ne l'est la dentine (18–21), c'est pourquoi une bonne connaissance de la structure de ces tissus ainsi que l'identification du tissu exposé est essentielle pour assurer le bon collage de la facette.

L'émail est le tissu le plus minéralisé de l'organisme. Il est constitué d'une phase minérale (cristaux d'hydroxyapatite) représentant entre 88 et 96% de son poids total, d'une phase aqueuse intraprismatique (entre 3,4 et 10%) et d'une faible proportion de corps organiques (entre 0,4 et 2%) (22,23).

Les cristaux s'organisent en 2 couches : une principale sous forme de prismes qui partent de la jonction amélo-dentinaire jusqu'à la surface et une couche superficielle de 30 à 50 microns aprismatique (non propice au collage) (22,23).

La dentine, elle, est composée d'une phase minérale représentant 50% de son poids tissulaire (cristaux d'hydroxyapatite), d'une phase organique (25 à 30%) composée notamment de fibres de collagène et d'une phase aqueuse (12 à 20%) qui représente le fluide dentinaire présent dans les tubules (22–24). Ces derniers connectent la dentine avec le tissu pulpaire. La présence du fluide dentinaire conduit à l'humidification de la dentine superficielle, paramètre clé à prendre en compte lors d'un collage (18).

C'est pour cette raison que, lors d'une préparation pour facette, le but est d'éviter au maximum l'exposition de dentine (4,15,21,25,26).

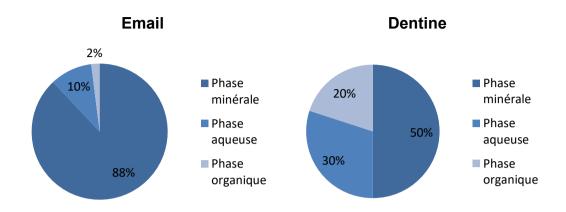


Figure 3 : Composition de l'émail et de la dentine en pourcentage de volume

De nombreuses études ont été menées sur le taux de survie des facettes en fonction de différents degrés d'exposition de dentine (8,21). FJ Trevor Burke a réalisé en 2012 une revue de littérature et en a conclu, à partir des 24 articles inclus, que le taux de survie des facettes vestibulaires était rarement de 100% et qu'une préparation intra-dentinaire affectait significativement la pérennité de celles-ci (20).

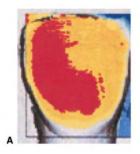
En effet, l'adhésion dentinaire est connue pour être plus difficile et moins prédictible. Alors que l'hydroxyapatite est disposée en cristaux dans l'émail, celle de la dentine est disposée au hasard dans la matrice organique constituée principalement de collagène.

L'adhésion dentinaire est également plus complexe à cause de la boue dentinaire dite « smear layer ». Composée de débris sur une épaisseur d'environ 0,5 mm (18), elle se forme à la surface lorsque la dentine est préparée, oblitérant ainsi les tubuli dentinaires et diminuant la perméabilité dentinaire. Il est nécessaire de la retirer pour pouvoir adhérer à la dentine sous-jacente. Des bactéries peuvent y être piégées, survivre et se multiplier en dessous des restaurations (18).

Le mordançage à l'acide orthophosphorique permet de retirer cette boue dentinaire, d'ouvrir les tubuli dentinaires, d'augmenter la perméabilité dentinaire et de déminéraliser la dentine inter-tubulaire et péri-tubulaire sur une profondeur d'environ 7 microns (18).

Les outils disponibles pour distinguer l'émail et la dentine sont variés comme en témoigne la littérature, cependant leur utilisation en clinique reste impossible :

la microtomographie aux rayons X : cette méthode consiste à numériser les dents après préparation pour facettes vestibulaires. Les images ainsi acquises et reconstruites peuvent être analysées par un logiciel pour visualiser les surfaces d'émail et de dentine (27). Cette technique peut être couplée à l'utilisation de la métrologie coordonnée pour produire des images illustrant les profondeurs de préparation (Figure 3) (28);



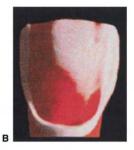


Figure 4 tirée de l'article (28): A, Code couleur obtenu en scannant les dents préparées avec la machine de métrologie coordonnée: le jaune correspond à une réduction comprise entre 0,201mm et 0,399mm, l'orange correspond à une réduction comprise entre 0,4 et 0,6mm. B, Code couleur obtenu grâce à la microtomographie aux rayons X: le rouge correspond à la dentine et le blanc à l'émail.

- L'observation sous stéréomicroscope à grossissement 20 (29) ou en réalisant des sections de dents (30,31);
- La dissolution chimique de la couche d'émail des dents à l'acide formique : les dents sont traitées à l'acide formique à 5% pendant 7 jours. Avant et après dissolution, une série de photographies standardisées est prise et 3 mesures sont réalisées (mésiodistale, cervico-incisale, bucco-palatine) (32).

Une solution clinique a cependant été proposée pour contrôler la présence de dentine : le mordançage à l'acide orthophosphorique. Plusieurs protocoles ont été soumis dans la littérature :

- Mordançage à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 30 secondes : l'émail apparait alors, après rinçage, d'un blanc crayeux visuellement discriminable (31,33) ;

- Magne P. (34) a proposé un mordançage à l'acide orthophosphorique court (2-3 secondes) suivi d'un séchage complet de la surface dentaire : l'émail apparaît « glacé » tandis que la dentine apparaît « brillante » ;
- Gresnigt M.M.M. et al. (11) ont préconisé un mordançage de 5 secondes avant de prendre en photo les dents et de les analyser à l'aide d'un logiciel de traitement d'image fait sur mesure (Plaqeval®, BME BioMedical Engineering, University of Groningen). Cela permet de mesurer les zones dentinaires exposées.
- Nattress B.R. et al. (33) ont associé l'etching à un colorant dentinaire (le « Van Gieson modifié ») qui permettrait de mieux identifier toutes les zones de dentine exposées après préparation. Ce colorant cytoplasmique permet de colorer en rouge les fibres de collagène présentes uniquement au niveau de la dentine. Il peut être éliminé sélectivement par lavage.

Ces articles, malgré le fait qu'ils utilisent l'acide de mordançage pour localiser la dentine, n'ont jamais validé cette méthode clinique en la comparant à une méthode de référence. Notre étude a pour but de valider, ou non, définitivement cette technique de mordançage en la confrontant à une technique différente, non clinique pour évaluer si les résultats concordent. Nous avons ainsi défini comme technique de référence l'utilisation du microscope pour discriminer l'émail et la dentine.

L'objectif de notre étude est alors d'identifier et de quantifier les proportions d'émail et de dentine après préparation de facettes vestibulaires pelliculées sur les incisives maxillaires avec la méthode à l'acide orthophosphorique.

Cela nécessitera au préalable de valider la méthode d'identification de la dentine à l'acide orthophosphorique en la couplant avec la méthode d'évaluation par microscopie.

Notre hypothèse est en effet que l'utilisation de l'acide orthophosphorique permettrait d'obtenir les mêmes mesures d'aires d'exposition de dentine qu'avec l'utilisation du microscope et deviendrait donc une méthode validée, parfaitement applicable cliniquement.

I- Matériels et méthodes

1- Design de l'étude

Une étude *ex vivo* a été réalisée en juin 2021 au sein du Plateau Technique de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse et avec l'aide de Mme Laetitia Pieruccioni, ingénieur d'étude de la plateforme d'imagerie photonique, de traitement et d'analyse d'image (Laboratoire RESTORE, Inserm, CNRS, CERT, Toulouse, France).

2- Préparation des échantillons

25 incisives maxillaires humaines extraites pour raison parodontale ont été récoltées, nettoyées, décontaminées et conservées dans une solution de chloramine à 1%. N'ont été conservées que les dents dépourvues de lésion carieuse, de restauration coronaire et ne présentant pas une perte de substance d'origine traumatique ou liée à un phénomène d'attrition. Les dents ont chacune été stabilisées dans un bloc de silicone (Eurosil Max² Putty®, Henry Schein, Melville, NY, Etats-Unis) normé dans des dimensions reproductibles à l'aide d'un moule conçu par impression 3D. Le soclage a permis le repositionnement de la dent de la même façon lors de la prise de photos. Une clé en silicone (Eurosil Max² Putty®, Henry Schein, Melville, NY, Etats-Unis) a ensuite été réalisée pour chaque ensemble dent/support à l'aide d'un isomoulage afin de pouvoir contrôler l'homogénéité future des préparations.

3- Préparation des dents

Dans un premier temps la méthode photographique d'identification de l'émail à l'acide orthophosphorique a été évaluée.

Un chirurgien-dentiste équipé de loupes à grossissement 2.5X (Orascoptic®, Kerr, Middleton, WI, Etats-Unis) a réalisé les préparations pour facettes vestibulaires selon une séquence bien spécifique en 3 temps (29) pour représenter un gradient d'évolution des préparations selon un concept d'économie tissulaire de plus en plus faible (Figure 4) :

- 1. Préparation minimalement invasive (MI) = pas de dentine exposée. La dent est « surfacée » : l'émail aprismatique de la face vestibulaire de la dent (préalablement marquée par une mine graphite) est éliminé grâce à une fraise congé bague rouge sur turbine puis polie grâce à des disques pop-on de diamètres décroissants et montés sur contre-angle.
- 2. Préparation semi-invasive (SI) ou jauge 1 = mixte émail/dentine. La dent est préparée grâce à une fraise de pénétration contrôlée sur turbine en réalisant 3 rainures tout en respectant l'homothétie tissulaire (fraise n°834.021 avec une profondeur de coupe 0,5 mm, Stoner Dental, Toulouse, France). Le fond de préparation maximale a été marqué par une mine graphite, lissé grâce à une fraise congé bague rouge sur turbine puis polie grâce aux disques pop-on de diamètres décroissants montés sur contre-angle.
- 3. Préparation invasive (I) ou jauge 2 = 100% de dentine : la dent est préparée une deuxième fois selon le même protocole que l'étape 2.



Figure 5 : Etapes de préparation des dents entre l'état initial non préparé (A), puis les préparations minimalement invasive (B), semi-invasive (C) et invasive (D). La dent a été mordancée après les préparations, ce qui fait ressortir les différences de texture entre la dentine et l'effet blanc crayeux de l'émail.

Entre chaque étape les dents ont été mordancées à l'acide orthophosphorique à 37% (Vococid®, VOCO GmbH, Cuxhaven, Allemagne) pendant 15 secondes puis rincées abondamment et séchées à la souflette pour pouvoir apprécier visuellement l'émail résiduel. Les préparations ont été contrôlées pour les étapes « préparation semi-invasive » et « invasive » grâce à l'isomoulage coupé au niveau du grand axe de la dent. Cela a permis de vérifier l'homogénéité et l'homothétie des préparations.

Un temps de réhydratation de la dent d'un minimum de 30 minutes a également été respecté entre chaque préparation (35) afin de retrouver des conditions physiologiques avant chaque nouvelle étape de préparation.

Méthode au microscope

A chaque étape, les dents ont été observées à l'aide d'un microscope (Leica®, Wetzlar, Allemagne) à grossissement 20X. Les plages de dentine exposées ont pu être révélées avec un léger séchage de la surface dentaire (29). Les observations ont été enregistrées sur cliché photographique au travers d'un objectif spécifique branché sur le microscope. Cette méthode représentait la méthode de référence pour l'évaluation des plages de dentine exposées lors de la préparation pour facettes.

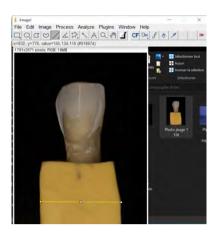
Méthode à l'acide orthophosphorique

De la même façon entre chaque étape, deux photographies de la face vestibulaire de la dent (socle en place) ont été prises, de manière standardisée à l'aide d'un appareil photo et d'un objectif macro (Canon EOS 700D, objectif Canon Macro Lens EF 100mm 1 :2.8 USM, flash Macro Ring Lite MR 14 EX-II), avant et après application de l'acide orthophosphorique. Celuici a été appliqué sur les dents pendant 15 secondes puis rincé soigneusement et séché à la souflette selon les recommandations d'utilisation du fabricant.

4- Traitement des images

Les mesures d'aires d'émail et de dentine ont été calculées grâce au logiciel ImageJ® (version 1.53k) que ce soit pour les images issues des observations au microscope sans mordançage tissulaire (observations « témoins ») ou pour les images photographiées après mordançage à l'acide orthophosphorique (observations « tests »).

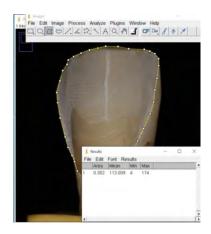
Le protocole de traitement des photographies des dents mordancées est décrit ci-dessous :



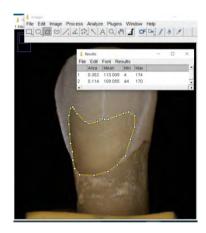
 Ouvrir l'image dans ImageJ et tracer un trait sur la photographie le long d'un objet dont la dimension est connue (ici le moule en silicone mesurant 1cm) grâce à l'outil « Segmented lines ».



2. Procéder à la calibration de l'échelle : appuyer sur « *Analyze* » puis « *Set scale* », compléter la distance connue ou « *Know distance* » par « 1 » représentant le cm du moule.



3. Tracer point par point l'aire de la préparation grâce à l'outil « Polygon selections » puis mesurer l'aire en appuyant sur « Analyze » et « Measure ».



- 4. Tracer et mesurer de la même façon l'aire de la dentine déterminée visuellement.
- 5. Faire le ratio dentine sur émail.

Le protocole de traitement des images observées au microscope est décrit ci-dessous :

 En suivant la même méthode que pour les photographies des dents mordancées, ouvrir l'image dans ImageJ et tracer un trait qui représentera l'unité de référence de la photo grâce à l'outil « Segmented lines ».



2. Procéder à la calibration de l'échelle : appuyer sur « *Analyze* » puis « *Set scale* », compléter la distance connue ou « *Know distance* » par « 1 ».



3. Tracer point par point l'aire de la préparation grâce à l'outil « *Polygon selections* » puis mesurer l'aire en appuyant sur « *Analyze* » et « *Measure* ».



- 4. Tracer et mesurer de la même façon l'aire de la dentine déterminée visuellement.
- 5. Faire le ratio dentine sur émail.

5- Analyses statistiques

- a) Reproductibilité des mesures :
- La variabilité inter-observateur a été calculée grâce au Tau de Kendall;
- La variabilité intra-observateur a été calculée grâce au coefficient de corrélation de Pearson;

Pour tester la reproductibilité intra et interindividuelle, les mesures sur 10 dents choisies au hasard ont été reprises un mois après les premières par le même évaluateur (variabilité intra-observateur) ou un second opérateur (variabilité inter-observateur).

b) Traitement des données :

La base de données a été constituée sur Microsoft Excel® puis les analyses et figures réalisées grâce aux logiciels Stata v.13® et GraphPad Prism 5®.

La comparaison entre les groupes a été assurée par l'application d'un t-test de Student en partant de l'hypothèse d'une distribution normale des valeurs et de l'égalité des variances.

Dans le cas contraire, un test non paramétrique de Mann Whitney Wilcoxon a été préféré.

Le seuil de significativité a été fixé à 5%.

Les variables quantitatives sont présentées sous la forme [moyenne ± écart type].

6- Résultats

a) Echantillons

Parmi les 25 dents utilisées, 12 étaient des incisives centrales maxillaires et 13 des incisives latérales maxillaires. Les 2 groupes Microscopie (M) et Photographie post-mordançage acide (A+P) sont composés de 50 mesures d'aires chacun soit 25 après préparations de jauge 1 et 25 après préparations de jauge 2.

b) Validation de la méthode d'évaluation

Quel que soit le type de préparation (jauge 1 ou 2), il n'apparaît pas de différence significative concernant les proportions de dentine mesurées entre les deux méthodes (p=0,76 et p=0,78 respectivement pour les deux jauges) (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des proportions d'aires de dentine exposée entre la méthode photo (A+P) et microscope (M)

	Photo A+P (n=25)	Microscope M (n=25)	P
Jauge 1	22 ± 1,7%	21 ± 1,7%	0,76
Jauge 2	77 ± 1,2%	76 ± 1,2%	0,78

La reproductibilité intra-individuelle des mesures sur 10 dents (soit 20 mesures d'aires avec la méthode M et 20 mesures avec la méthode A+P) est jugée excellente avec un coefficient de corrélation de Pearson à 0,97.

La reproductibilité inter-individuelle évaluée sur 10 dents (soit 20 mesures pour la méthode M et 20 mesures pour la méthode A+P) est aussi très haute avec un coefficient Tau de Kendall de 0,98 (p<0,0001) pour la méthode A+P et de 0,95 (p<0,0001) pour la méthode M.

L'ensemble de ces résultats valide l'utilisation de la méthode photographique postmordançage pour la détermination des plages tissulaires exposées lors des préparations pour facette.

c) Surface de dentine exposée lors de la préparation de facettes vestibulaires pelliculées (préparation semi-invasive ou étape dite mixte)

Le pourcentage de plages dentinaires exposées lors d'une préparation de facettes vestibulaires pelliculées réalisée à l'aide d'une fraise de pénétration contrôlée (voir jauge 1), mesuré par la méthode A+P est en moyenne de 22 ± 2% pour les incisives centrales et 22 ± 1,5% pour les incisives latérales. La surface dentinaire exposée en jauge 1 est largement inférieure à la surface amélaire (Tableau 2).

Tableau 2 : Proportions des aires de dentine exposées des incisives centrales et latérales relevées grâce à la méthode photo (A+P) en jauge 1

N° dent	Centrales	Latérales
1	28%	27%
2	25%	5%
3	24%	34%
4	36%	7%
5	2%	13%
6	22%	28%
7	0%	15%
8	5%	37%
9	46%	33%
10	15%	53%
11	0%	7%
12	65%	20%
13	N/A	7%
Moyenne ± écart type	22 ± 2%	22 ± 1,5%

d) Surface de dentine exposée lors de la préparation de facettes vestibulaires pelliculées (préparation invasive)

Le pourcentage de plages dentinaires exposées lors d'une deuxième préparation de facettes vestibulaires pelliculées réalisée à l'aide d'une fraise de pénétration contrôlée (voir jauge 2), mesuré par la méthode A+P est en moyenne de $84 \pm 0,4\%$ pour les incisives centrales et $69 \pm 1,3\%$ pour les incisives latérales. La surface dentinaire exposée en jauge 2 est alors largement supérieure à la surface amélaire (Tableau 3).

Tableau 3 : Proportions des aires de dentine exposées des incisives centrales et latérales relevées grâce à la méthode photo (A+P) en jauge 2

N° dent	Centrales	Latérales
1	84%	84%
2	88%	62%
3	83%	64%
4	85%	81%
5	83%	62%
6	86%	74%
7	89%	76%
8	86%	74%
9	79%	56%
10	89%	75%
11	84%	35%
12	88%	84%
13	N/A	62%
Moyenne ± écart type	84 ± 0,4%	69 ± 1,3%

e) Comparaison des mesures d'aires de dentine exposée entre les incisives centrales et latérales

Quel que soit le type de méthode (A+P ou M), il n'apparaît pas de différence significative concernant les proportions de dentine mesurées (p=0,93 et p=0,91 respectivement pour les deux méthodes) entre les incisives centrales et latérales lors de la préparation semi-invasive (jauge 1) (Tableau 4).

Il apparait, quel que soit le type de méthode (A+P ou M), une différence significative concernant les proportions de dentine mesurées (p=0,0002 et p=0,0003 respectivement pour les deux méthodes) entre les incisives centrales et latérales lors de la préparation dite invasive ou jauge 2 (Tableau 4).

Tableau 4 : Comparaison des mesures d'aires de dentine entre les incisives centrales et latérales en fonction des jauges (1 ou 2) et de la méthode utilisée (A+P ou M)

	Centrales (n=12)	Latérales (n=13)	P
Jauge 1 A+P	22 ± 2%	22 ± 1,5%	0,93
Jauge 2 A+P	84 ± 0,4%	69 ± 1,3%	0,0002
Jauge 1 M	22 ± 2%	21 ± 1,5%	0,91
Jauge 2 M	84 ± 0,5%	68 ± 1,3%	0,0003

Discussion

Principaux résultats

Les résultats de notre étude mettent en évidence que la préparation d'une face vestibulaire d'incisive maxillaire pour la réalisation d'une facette expose majoritairement de l'émail, bien que plus de 20% de la surface disponible pour le collage soit représentée par de la dentine (même dans le cadre d'une préparation de type semi-invasive). Il apparait également que les zones d'exposition de dentine se situent majoritairement au niveau du collet des dents et qu'elles ne concernent pas le bandeau périphérique qui reste strictement amélaire.

Une différence significative apparait entre la proportion de plages dentinaires exposées entre les incisives centrales et latérales lors de la préparation dite invasive. En effet, il en ressort que les plages dentinaires exposées après préparation sont plus importantes pour les incisives centrales que pour les incisives latérales.

Ces résultats ne concordent pas avec les épaisseurs d'émail décrites dans la littérature avec en moyenne un millimètre de moins d'émail pour les incisives latérales comparées aux incisives centrales (31). Cette incohérence pourrait être expliquée par un échantillon trop faible des dents ou alors une usure physiologique préexistante des dents qui n'avait pas pu être identifiée initialement.

Validation de la méthode

Ces données ont été obtenues grâce à une évaluation par photographies de dents mordancées, méthode validée au préalable et qui pourra aisément être appliquée cliniquement. En cela, ces résultats ont été obtenus différemment d'autres déjà publiés dans la littérature, basés sur la réalisation de coupes de la couronne avec observation au microscope des échantillons (30,31). L'épaisseur de l'émail résiduel n'est, au contraire de ces études, pas déterminable par photographie de la face vestibulaire.

La validation d'une méthode repose sur son exactitude et sa précision :

- l'exactitude est la validité d'une valeur,
- la précision ou la fiabilité est l'écart moyen.

Ces 2 paramètres sont essentiels pour la recherche (36,37). Le but étant de déterminer si la méthode est reproductible (36).

Dans notre étude, la précision a été testée grâce à la concordance intra-observateur et la fiabilité inter-observateur. Les résultats démontrent que la méthode du mordançage et de la prise de photographie semble fiable et facile à utiliser.

L'exactitude ou la validité de notre étude est représentée dans notre protocole par la concordance des valeurs relevées à la fois avec la méthode utilisant le microscope et la méthode utilisant des photographies de dents mordancées.

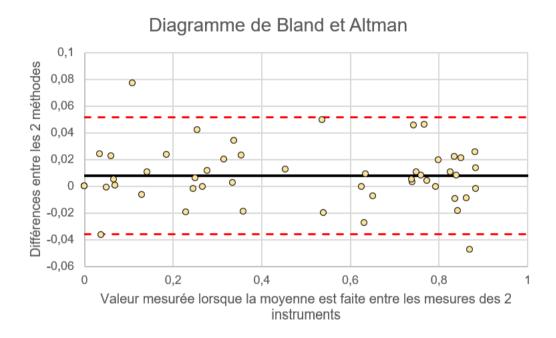


Figure 6 : Diagramme de Bland et Altmann montrant la concordance entre les 2 méthodes : l'échantillon étant généralement situé entre les limites supérieure et inférieur de concordance [moyenne ± 1,96 écart-type], les résultats des deux méthodes ne sont graphiquement pas différents.

Que dit la littérature ?

D'autres études ayant pour objectif de quantifier la quantité de dentine après une préparation de facettes ont déjà été menées auparavant.

Un premier article de Nattress B.R. et al. (33) a été publié en 1995. Il avait pour but de quantifier les surfaces de dentine exposée en préparant des facettes vestibulaires pelliculées en utilisant la « freehand » technique, dite « à main levée ».

Les résultats démontrèrent, tout comme notre étude, qu'il y a une majorité d'émail exposé à la fin des préparations avec seulement 18,7% de dentine. La technique utilisée pourrait être quelque peu désuète (compte tenu du matériel disponible de nos jours pour un omnipraticien) : les variations de profondeur de préparation sont plus importantes comparées à des techniques utilisant des jauges de profondeur (comme par exemple l'utilisation de fraises de pénétration contrôlée) (4).

De la même façon, Cherukara G.P. et al. (28) ont publié une étude sortie en 2005 qui compare cette fois-ci 3 types de préparations de facettes pelliculaires (la « freehand » technique, les rainures de profondeur et les fossettes de profondeur ou « dimples ») et leurs surfaces d'émail résultantes respectives :

- pour la « freehand » technique : 76.8%

- pour les rainures de profondeur : 50.1%

- pour les « dimples » : 77.5%

Les résultats de cette étude nous montrent que les 3 techniques restent majoritairement amélaires sans différence significative entre celles-ci. La technique des « dimples » (fossettes de 0,5 mm faites sur toute la surface vestibulaire en rangées à l'aide d'une fraise boule diamantée) tendrait à une meilleure conservation de l'émail.

Dans une dernière étude souhaitant quantifier le pourcentage émail/dentine, publiée en 2018, Wang P. et al. (27) préparent des facettes avec un retour palatin. Comme dans les autres études, l'émail reste majoritaire à la fin des préparations (54.8%).

Comparativement, lors de notre étude, nous avons fait le choix de ne pas réaliser de retour palatin en réalisant des facettes pelliculées vestibulaires. Cependant, dans de nombreuses situations cliniques (par exemple lorsqu'un bord libre est usé ou dyschromié, lors de la présence d'anciennes restaurations en composite nécessitant d'être englobées), il est nécessaire de réaliser ce retour et cela peut modifier la quantité d'émail restante finale (38). En effet, la face vestibulaire devra alors être préparée de façon à être de dépouille par rapport à la face palatine ce qui engendre une perte d'émail et diminue de ce fait l'efficacité du collage.

Pour résumer, ces 3 études concluent toutes de la même façon : le tissu majoritaire restant après préparation de facette est l'émail.

Les variations des pourcentages des résultats observées peuvent s'expliquer par le type de facette réalisée (facette vestibulaire pelliculée / avec réduction du bord libre / avec retour palatin) ainsi que par la technique de préparation utilisée (« freehand » technique ou utilisation de jauges de profondeur).

Les différents résultats de ces études décrites ci-dessus sont résumés dans ce tableau :

Tableau 5 : Récapitulatif des études objectivant la quantité de dentine après préparation de facettes par ordre chronologique de publication

Année de publication	Auteur	Type et nombre de dents	Type de facettes	Méthode de révélation de la dentine	Tissu majoritaire (dentine ou émail)
1995	B. R.Nattress et al. (33)	22 incisives centrales maxillaires	Facette pelliculée vestibulaire avec conservation du bord libre. La préparation de 0,5 mm se fait « à main levée » (sans jauges de profondeur)	Acide orthophosphorique à 37% pendant 30 secondes + Colorant modifié de Van Gieson (qui colore la dentine)	Email
2005	George P. Cherukara et al. (28)	15 incisives centrales maxillaires	Facette pelliculée vestibulaire avec conservation du bord libre avec 3 techniques de préparation différentes	Microtomographie	Email
2018	Peng Wang et al. (27)	45 incisives centrales maxillaires	Facette avec retour palatin	Microtomographie	Email

L'utilisation de la méthode en clinique

En clinique, après les étapes de préparation décrites dans notre protocole viendront les étapes d'enregistrement, de conception et d'assemblage.

Dans cette étude *in vitro*, lors de la préparation des facettes, nous n'avons pas réalisé de mock-up préalable. En pratique, un mock-up est le résultat de l'étude clinique d'un cas. Ce mock-up, qui représente le projet esthétique, permet une meilleure conservation tissulaire. En effet, la préparation en pénétration contrôlée se fait à travers le mock-up et non directement sur la dent afin de respecter une préparation *a minima*, permettant un gain d'émail (4,16,21). La préparation est donc homothétique au projet esthétique et non à la dent (17). Il aurait été réalisable si l'étude avait été réalisée *in vivo* mais pour des questions d'éthique et de praticité, il a été décidé de réaliser une étude *ex vivo*.

Le collage est une étape déterminante quant à la pérennité de la facette.

Pour ce qui est de la surface dentaire, le protocole varie en fonction de la présence ou non de plage dentinaire exposée, d'où l'intérêt d'identifier préalablement les tissus sur lesquels vont s'effectuer le collage.

Si la proportion de plage dentinaire exposée est négligeable, le protocole de collage amélaire classique à réaliser le jour de l'assemblage est le suivant :

- Sablage de l'émail avec de l'alumine 30 microns à 3 cm de la dent et à 3 bar de pression;
- Mordançage avec de l'acide orthophosphorique à 37% pendant 30 secondes de l'émail, rinçage abondant, séchage ;
- Mise en place de l'adhésif sans prépolymérisation.

S'il existe une plage dentinaire importante et accessible, il est préconisé de réaliser une hybridation dentinaire immédiate à l'aide d'un adhésif le jour de la préparation sur la dentine fraichement coupée (5,34) :

- Mordançage à l'acide orthophosphorique pendant 15 secondes directement après la préparation pour éviter la contamination salivaire puis rincer et sécher sans dessécher;
- Mise en place du primer (MR3) et de l'adhésif après élimination des excès ou mise en place directement de l'adhésif si utilisation d'un MR2.

La technique MR3 est préférable (34) car elle permet non seulement d'améliorer le collage mais aussi d'appliquer de manière plus précise la résine adhésive.

Après une première photopolymérisation de 20 secondes de l'adhésif, une couche de gel de glycérine est appliquée pour photopolymériser 10 secondes supplémentaires (afin de polymériser la couche d'oxygène inhibée et ainsi prévenir une interaction de la couche avec les matériaux à empreinte) (34).

Le jour de l'assemblage, un microsablage est effectué puis le collage peut se poursuivre comme s'il n'y avait pas eu d'exposition dentinaire et redevient alors identique dans les deux cas de figure (34) :

- Mordançage à l'acide orthophosphorique pendant 30 secondes, rinçage et séchage ;
- Mise en place de l'adhésif en brossant bien à l'aide d'un microbrush la surface à coller (sans pré-photopolymérisation pour permettre l'insertion parfaite de la pièce prothétique).

Notre méthode imposant un temps de mordançage supplémentaire par rapport aux recommandations du fabricant (30 secondes pour l'émail et 15 secondes pour la dentine), la question de l'impact du mordançage répété des tissus dentaires pour une application clinique pourrait être soulevée.

En effet, selon un article publié en 2005 qui compare les effets de différents temps de mordançage sur les tissus (39), un mordançage d'une durée supérieure aux recommandations aurait tendance à augmenter la rugosité de surface et à diminuer la dureté de surface, compromettant ainsi la force de liaison des matériaux adhésifs dans les applications cliniques. Les propriétés de surface de l'émail telle que la rugosité ou la dureté peuvent être modifiées en quelques secondes et ne devraient donc pas dépasser les 30 secondes de mordançage. La dentine peut, elle, être mordancée de 15 à 30 secondes sans léser sa surface (Figures 7, 8, 9).

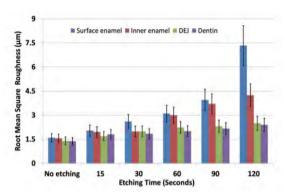


Figure 7 : Comparaison de la rugosité de surface (moyenne de la racine carrée de la rugosité) en fonction des différents tissus dentaires et des différents groupes (39)

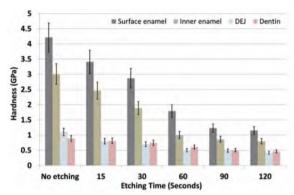


Figure 8 : Comparaison de la dureté des tissus dentaires mordancés ou non (en fonction du temps de mordançage) en utilisant la technique de la nanoindentation (39)

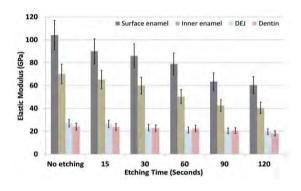


Figure 9 : Comparaison du module d'élasticité (en fonction du temps de mordançage) des tissus dentaires mordancés ou non en utilisant la technique de nanoindentation (39)

Cependant, une autre étude a voulu évaluer l'influence des différents temps de mordançage (15s, 30s, 60s, 120s, 180s) sur la formation d'une couche hybride et de la force de liaison après collage (40). Les meilleures forces de liaison sont : 15s > 30s > 60s.

Ces forces sont significativement plus hautes que sans mordançage ou après un mordançage de 120 ou 180 secondes. La force d'adhésion ne serait donc pas ou peu impactée par notre protocole d'identification de la dentine et de l'émail.

Pour ce qui est de l'émail, une étude plus ancienne (41) affirme que s'il est préparé avec une fraise diamantée avant le mordançage - condition réalisée lors de notre étude - la distribution de la structure prismatique serait homogène quel que ce soit le temps de mordançage.

Pour la dentine, une autre étude (42) nous indique que la force de liaison des matériaux adhésifs sur celle-ci est équivalente pour un mordançage de 15 ou de 30 secondes.

Différents protocoles ont été soumis par la littérature pour discriminer l'émail de la dentine grâce à la méthode à l'acide orthophosphorique, une étude supplémentaire serait nécessaire pour déterminer le protocole et le temps de mordançage optimal.

Il est cependant recommandé, dans tous les cas, après ce mordançage d'identification initial, de préparer une deuxième fois légèrement la dentine avec une fraise diamantée de faible granulométrie afin de réaliser l'hybridation dentinaire immédiate sur de la dentine fraichement coupée (34).

Pour terminer, l'ensemble de ces données nous permet de proposer une classification visuelle utilisable en clinique dans le cadre d'une préparation pour facettes :

- Stade 1 = pas de dentine exposée : protocole de collage amélaire classique ;
 - → Meilleur taux de succès et de survie (43)
- Stade 2 = surface exposée de dentine inférieure à la moitié au niveau du collet de la dent : hybridation dentinaire le jour de la préparation suivie d'un protocole de collage classique ;
 - → Pas de différence significative du taux de survie par rapport au stade 1 (8,43)
- Stade 3 = majorité de dentine entourée d'un cadre amélaire : hybridation dentinaire le jour de la préparation suivie d'un protocole de collage classique ;
 - → Taux de survie significativement réduit (complications techniques et biologiques) (8,43).

Conclusion

Dans cette étude, la proportion d'émail et de dentine après préparation de facette identifiée grâce à la méthode photographique de dents mordancées concorde avec celle identifiée grâce à la méthode déjà validée du microscope avec une différence statistiquement non significative.

La méthode à l'acide orthophosphorique peut ainsi être aisément applicable en clinique afin d'adapter au mieux le protocole de collage en fonction des tissus identifiés. Une étude supplémentaire serait nécessaire pour définir le temps de mordançage optimal pour le protocole de cette méthode. Il est préférable, à la fin de ce premier mordançage, de préparer à nouveau légèrement la dentine identifiée à l'aide d'une fraise diamantée à faible granulométrie pour réaliser l'IDS sur de la dentine fraichement coupée.

De plus, cette étude nous a permis d'évaluer le pourcentage de dentine exposée après préparation d'une facette pelliculée vestibulaire d'une profondeur de 0,5 mm sans mock-up qui est en moyenne de 22% soit largement inférieure au 50% requis au minimum pour assurer une adhésion durable.

Pour résumer, les résultats de cette étude nous permettent de mettre en évidence deux points :

- Le mordançage à l'acide orthophosphorique peut être utilisé cliniquement pour identifier la dentine exposée après préparation de facettes;
- En moyenne, 22% de surface dentinaire est exposée après préparation de facettes pelliculées vestibulaires.

La Présidente du jury

Le 04/11/2021

Les Directeurs de thèse

Pr Cathy NABET

Bibliographie

- 1. Edelhoff D, Sorensen JA. Tooth structure removal associated with various preparation designs for anterior teeth. J Prosthet Dent. mai 2002;87(5):503-9.
- 2. Al-Dabbagh RA. Survival and success of endocrowns: A systematic review and meta-analysis. J Prosthet Dent. 1 mars 2021;125(3):415.e1-415.e9.
- 3. Tirlet G, Attal J p. Le gradient thérapeutique : un concept médical pour les traitements esthétiques. Inf Dent. 2009;2009(41-42).
- 4. Etienne O. Les facettes en céramique. CdP. Editions CdP; 2015. 165 p. (Memento).
- 5. Belser UC, Magne P, Magne M. Ceramic laminate veneers: continuous evolution of indications. J Esthet Dent. 1997;9(4):197-207.
- 6. Magne P, Belser UC. In: Restaurations adhésives en céramique sur dents antérieures Approche biomimétique -. Quintessence Internationale. 2003. p. 129-78.
- 7. Castelnuovo J. Les facettes céramiques : critères de fiabilité. Rev Odonto Stomatol. déc 2008;Tome 37(N°4):287-315.
- 8. Oztürk E, Bolay S. Survival of porcelain laminate veneers with different degrees of dentin exposure: 2-year clinical results. J Adhes Dent. oct 2014;16(5):481-9.
- 9. Beier US, Kapferer I, Burtscher D, Dumfahrt H. Clinical performance of porcelain laminate veneers for up to 20 years. Int J Prosthodont. févr 2012;25(1):79-85.
- 10. Galibourg A. Préparation pour facettes [Internet]. Le Congé Parfait. 2016. Disponible sur: https://tppf4.wordpress.com/
- 11. Gresnigt MMM, Cune MS, de Roos JG, Özcan M. Effect of immediate and delayed dentin sealing on the fracture strength, failure type and Weilbull characteristics of lithiumdisilicate laminate veneers. Dent Mater. avr 2016;32(4):e73-81.
- 12. LeSage B. Establishing a classification system and criteria for veneer preparations. Compend Contin Educ Dent Jamesburg NJ 1995. févr 2013;34(2):104-12, 114-5.
- 13. Haralur SB. Microleakage of porcelain laminate veneers cemented with different bonding techniques. J Clin Exp Dent. 1 févr 2018;10(2):e166-71.
- 14. Chai S, Bennani V, Aarts J, Lyons K. Incisal preparation design for ceramic veneers. J Am Dent Assoc. 1 janv 2018;149:25-37.
- 15. Gürel G. Predictable, precise, and repeatable tooth preparation for porcelain laminate veneers. Pract Proced Aesthetic Dent PPAD. févr 2003;15(1):17-24.
- 16. Magne P, Belser UC. Novel porcelain laminate preparation approach driven by a diagnostic mock-up. J Esthet Restor Dent Off Publ Am Acad Esthet Dent Al. 2004;16(1):7-16; discussion 17-18.
- 17. Heichelbech F, Toledano C. Protocole de préparation pour facettes. Fil Dent. 19 mai 2017;

- 18. Swift EJ, Perdigão J, Heymann HO. Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. Quintessence Int Berl Ger 1985. févr 1995;26(2):95-110.
- 19. Gordon J. Bonding to dentin and enamel: Where does it stand in 2005? J Am Dent Assoc. 1 sept 2005;136(9):1299-302.
- 20. Burke FJT. Survival Rates for Porcelain Laminate Veneers with Special Reference to the Effect of Preparation in Dentin: A Literature Review. J Esthet Restor Dent. 1 août 2012;24(4):257-65.
- 21. Gurel G, Morimoto S, Calamita M, Coachman C, Sesma N. Clinical Performance of Porcelain Laminate Veneers: Outcomes of the Aesthetic Pre-evaluative Temporary (APT) Technique. Int J Periodontics Restorative Dent. 1 déc 2012;32:625-35.
- 22. Shahmoradi M, Bertassoni L, Elfallah H, Swain M. Fundamental Structure and Properties of Enamel, Dentin and Cementum. In 2014. p. 511-47.
- 23. Heymann HO, Swift EJ, Ritter AV. Sturdevant's Art & Science of Operative Dentistry E-Book. Elsevier Health Sciences; 2014. 756, 118-123 p.
- 24. Ji GWM. Dentin: Microstructure and characterization. 1993;24(9):607-9.
- 25. Gürel G. Porcelain laminate veneers: minimal tooth preparation by design. Dent Clin North Am. avr 2007;51(2):419-31, ix.
- 26. Etienne O. Préparations pour céramiques collées : technique des masques et préservation tissulaire. Réal Clin. 15 déc 2010;n°4:289-97.
- 27. Wang P, Sun F, Yu Q, Wu G. Three-dimensional analysis of the relationship between the structure of maxillary central incisor and the preparation of dental all-ceramic. PLoS ONE. 27 déc 2018;13(12).
- 28. Cherukara GP, Davis GR, Seymour KG, Zou L, Samarawickrama DYD. Dentin exposure in tooth preparations for porcelain veneers: A pilot study. J Prosthet Dent. 1 nov 2005;94(5):414-20.
- 29. Blunck U, Fischer S, Hajtó J, Frei S, Frankenberger R. Ceramic laminate veneers: effect of preparation design and ceramic thickness on fracture resistance and marginal quality in vitro. Clin Oral Investig. 1 août 2020;24(8):2745-54.
- 30. Pahlevan A, Mirzaee M, Yassine E, Ranjbar Omrany L, Hasani Tabatabaee M, Kermanshah H, et al. Enamel Thickness After Preparation of Tooth for Porcelain Laminate. J Dent Tehran Iran. juill 2014;11(4):428-32.
- 31. Ferrari M, Patroni S, Balleri P. Measurement of enamel thickness in relation to reduction for etched laminate veneers. Int J Periodontics Restorative Dent. 1992;12(5).
- 32. Atria PJ, Barbosa JM, Sampaio CS, Jorquera G, Hirata R, Mahn G. Comparison of a non-destructive technique using three-dimensional imaging and histoanatomical chemical dissolution for dental morphology analysis. Int J Esthet Dent. 2019;14(1):76-85.
- 33. Nattress BR, Youngson CC, Patterson CJW, Martin DM, Ralph JP. An in vitro assessment of tooth preparation for porcelain veneer restorations. J Dent. 1995;23(3):165-70.

- 34. Magne P. Immediate Dentin Sealing: A Fundamental Procedure for Indirect Bonded Restorations. J Esthet Restor Dent. 2005;17:144-55.
- 35. Marshall GW, Wu-Magidi IC, Watanabe LG, Inai N, Balooch M, Kinney JH, et al. Effect of citric acid concentration on dentin demineralization, dehydration, and rehydration: atomic force microscopy study. J Biomed Mater Res. 15 déc 1998;42(4):500-7.
- 36. Ioannidis JPA. How to Make More Published Research True. PLoS Med. 21 oct 2014;11(10):e1001747.
- 37. Ferrante L, Cameriere R. Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. Int J Legal Med. juill 2009;123(4):277-83.
- 38. Serfati R, Toledano C, Etienne O. Facettes en céramique collée : préparations pragmatiques mais toujours a minima. Fil Dent. 16 mars 2013;
- 39. Zafar MS, Ahmed N. The effects of acid etching time on surface mechanical properties of dental hard tissues. Dent Mater J. 2015;34(3):315-20.
- 40. Pioch T, Stotz S, Buff E, Duschner H, Staehle HJ. Influence of different etching times on hybrid layer formation and tensile bond strength. Am J Dent. oct 1998;11(5):202-6.
- 41. Garcia-Godoy F, Gwinnett AJ. Effect of etching times and mechanical pretreatment on the enamel of primary teeth: an SEM study. Am J Dent. juin 1991;4(3):115-8.
- 42. Effects of etching time of primary dentin on interface morphology and microtensile bond strength. Dent Mater. 1 déc 2006;22(12):1121-9.
- 43. Araujo E, Perdigão J. Anterior Veneer Restorations An Evidence-based Minimal-Intervention Perspective. J Adhes Dent. 7 avr 2021;23(2):91-110.

Table des illustrations

-igure 1 : Le « Gradient » therapeutique. Classement des différentes therapeutiques esthétiques
dans le secteur antérieur sur un axe horizontal ; de la moins mutilante (à gauche) à la plus mutilante
à droite) (3)11
Figure 2 : Modélisation 3D de l'évolution de la préparation des dents en fonction du type de facettes
avec de gauche à droite la window prep, la butt margin, l'incisive overlap et la 360° veneer en vue
vestibulaire (en haut) et en vue latérale (en bas) (10)14
Figure 4 tirée de l'article (28) : A, Code couleur obtenu en scannant les dents préparées avec la
machine de métrologie coordonnée : le jaune correspond à une réduction comprise entre 0,201mm
et 0,399mm, l'orange correspond à une réduction comprise entre 0,4 et 0,6mm. B, Code couleur
obtenu grâce à la microtomographie aux rayons X : le <i>rouge</i> correspond à la dentine et le <i>blanc</i> à
'émail17
Figure 5 : Etapes de préparation des dents entre l'état initial non préparé (A), puis les préparations
minimalement invasive (B), semi-invasive (C) et invasive (D). La dent a été mordancée après les
préparations, ce qui fait ressortir les différences de texture entre la dentine et l'effet blanc crayeux
de l'émail20
Figure 6 : Diagramme de Bland et Altmann montrant la concordance entre les 2 méthodes :
échantillon étant généralement situé entre les limites supérieure et inférieur de concordance
moyenne ± 1,96 écart-type], les résultats des deux méthodes ne sont graphiquement pas différents.
30
Figure 7 : Comparaison de la rugosité de surface (moyenne de la racine carrée de la rugosité) en
onction des différents tissus dentaires et des différents groupes (39)
Figure 8 : Comparaison de la dureté des tissus dentaires mordancés ou non (en fonction du temps de
mordançage) en utilisant la technique de la nanoindentation (39)35
Figure 9 : Comparaison du module d'élasticité (en fonction du temps de mordançage) des tissus
dentaires mordancés ou non en utilisant la technique de nanoindentation (39)35
Fableau 1 : Comparaison des proportions d'aires de dentine exposée entre la méthode photo (A+P)
et microscope (M)26
Tableau 2 : Proportions des aires de dentine exposée des incisives centrales et latérales relevées
grâce à la méthode photo (A+P) en jauge 1

Tableau 3 : Proportions des aires de dentine exposée des incisives centrales et latérales relevées	S
grâce à la méthode photo (A+P) en jauge 2	28
Tableau 4 : Comparaison des mesures d'aires de dentine entre les incisives centrales et latérales	s en
fonction des jauges (1 ou 2) et de la méthode utilisée (A+P ou M)	28
Tableau 5 : Récapitulatif des études objectivant la quantité de dentine après préparation de fac	ettes
par ordre chronologique de publication	32

UDAR Manon 2021 TOU3 3076

PROPORTIONS D'EMAIL ET DE DENTINE DISPONIBLES POUR LE COLLAGE DE FACETTES VESTIBULAIRES PELLICULEES : VALIDATION DE METHODE ET EVALUATION EX VIVO

RESUME: La facette dentaire, apparaissant comme la première étape de reconstitution indirecte du « Gradient Thérapeutique », est de plus en plus utilisée. Le protocole et les performances de collage sont variables en fonction du tissu dentaire sur lequel sont collées les facettes. C'est pourquoi l'identification du tissu exposé est primordiale. De nombreux outils décrits en recherche odontologique permettant de distinguer l'émail et la dentine sont disponibles mais ne sont pas compatibles avec une utilisation clinique. Le but de cette étude est de valider une méthode, déjà proposée par la littérature mais jamais validée auparavant, permettant d'identifier l'émail et utilisable cliniquement : le mordançage à l'acide orthophosphorique. Cette méthode permettra de quantifier les proportions d'émail et de dentine après préparation de facettes vestibulaires pelliculées sur les incisives maxillaires et de corréler 3 situations cliniques à 3 protocoles de collage.

PROPORTIONS OF ENAMEL AND DENTIN AVAILABLE FOR BONDING LAMINATE VENEERS : METHOD VALIDATION AND *EX VIVO* EVALUATION

SUMMARY: The dental veneer, which is the first step in the indirect reconstitution of the "Therapeutic Gradient", is being increasingly used. The bonding protocol and performance vary depending on the dental tissue to which the veneers are bonded. For this reason, correctly identifying the exposed tissue is essential. While many tools in dental research are able to distinguish enamel and dentin, they are not compatible with clinical use. The aim of this study is to validate a method— that was previously suggested in literature but never validated— to identify enamel that can be used clinically: etching with orthophosphoric acid. This method will make it possible to quantify the proportions of enamel and dentin after preparing laminate veneers on the maxillary incisors and to correlate 3 clinical situations with 3 bonding protocols.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE: Chirurgie dentaire

MOTS-CLES: Facette, dentine, émail, identification, mordançage, proportion

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

Directeur de thèse : Dr Cathy NABET