



UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉ DE SANTÉ – DÉPARTEMENT D'ODONTOLOGIE

ANNÉE 2023

2023-TOU3-3015

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Vincent ASSY

Le 27 Mars 2023

**INTÉRÊT DES TRAITEMENTS DE SURFACE DE LA DENTINE
PRÉ-HYBRIDÉE DANS L'OPTIMISATION DES VALEURS
D'ADHÉSION DES RESTAURATIONS ESTHÉTIQUES EN
CÉRAMIQUE COLLÉE : ETUDE EX VIVO.**

Directeur de thèse : Pr Jean-Noël VERGNES
Co-directeur de thèse : Dr Romain DUCASSÉ

JURY

Président :	Pr Jean-Noël VERGNES
1 ^{er} Assesseur :	Dr Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN
2 ^{ème} Assesseur :	Dr Karim NASR
Invité :	Dr Romain DUCASSÉ



Faculté de santé
Département d'Odontologie

➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé

Directrice du Département d'Odontologie

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjoints

Mme Sarah COUSTY

M. Florent DESTRUHAUT

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

Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH

Adjoints d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Mathieu TESTE, M. Daniel BANDON

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, M. Maxime ROTENBERG

Assistants : M. Vincent VIDAL-ROSSET, Mme Carole VARGAS JOULIA

Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL

Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

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

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX, Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS

Assistants : M. Joffrey DURAN, M. Antoine AL HALABI

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 : M. Clément CAMBRONNE, M. Antoine DUBUC
Adjoints d'Enseignement : M. Gabriel FAUXPOINT, M. Arnaud L'HOMME, Mme Marie-Pierre LABADIE, M. Luc RAYNALDY, M. Jérôme SALEFRANQUE,

BIOLOGIE ORALE

Professeurs d'Université : M. Philippe KEMOUN, M. Vincent BLASCO-BAQUE
Maîtres de Conférences : M. Pierre-Pascal POULET, M. Matthieu MINTY
Assistants : Mme Chiara CECCHIN-ALBERTONI, M. Maxime LUIS, Mme Valentine BAYLET GALY-CASSIT, Mme Sylvie LE
Adjoints d'Enseignement : M. Mathieu FRANC, M. Hugo BARRAGUE, M. Olivier DENY, Mme Inessa TIMOFEEVA-JOSSINET

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 : Mme Sophie BARRERE, Mme. Manon SAUCOURT, M. Ludovic PELLETIER
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Lorris BOIVIN
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean- Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE, Mme Lucie RAPP

PROTHÈSES

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,
Maîtres de Conférences : M. Rémi ESCLASSAN, M. Antoine GALIBOURG,
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY
M. Anthony LEBON
Adjoints d'Enseignement : 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. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

Professeur d'Université : Mr. Paul MONSARRAT
Maîtres de Conférences : Mme Sabine JONJOT, M. Karim NASR, M. Thibault CANCEILL
Assistants : M. Julien DELRIEU, M. Paul PAGES,
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 02 Février 2023

Remerciements

Je dédie ce travail

À ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, qui m'a témoigné son amour, et qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement à toi, Maman, pour ton soutien, tes encouragements et ta confiance inconditionnelle.

À toi, Papa, pour le goût à l'effort que tu as toujours suscité en moi, de par ta rigueur et ton soutien sans faille.

À toi, Mathilde, pour l'oreille attentive que tu m'as toujours portée, tes conseils avisés, et ton amour. Tu es le plus beau cadeau que la vie m'a offert.

À mon Oncle, ma Tante et ma Grand-mère au Liban, pour l'amour que vous me portez et pour votre soutien dans l'achèvement de mon parcours scolaire.

À toi, Abdelaziz, mon parfait binôme. Personnification d'un soutien indéfectible et d'une amitié incommensurable. Merci pour ces moments partagés qui resteront à jamais inoubliables. Tu as toujours été pour moi une profonde source d'inspiration. Je te souhaite la plus grande réussite dans tes projets tant professionnels que personnels.

À mon mentor, le docteur Romain Ducassé, qui m'a transmis, de par la qualité de son enseignement, la passion du métier. Votre mentorat a joué un rôle certain dans le développement de ma carrière. Merci d'avoir consacré du temps et des efforts pour m'aider à évoluer dans mon métier. Et puisqu'il paraîtrait que les grands peintres ont observé les grands maîtres, et en attendant de caresser l'espoir de devenir un grand peintre, je vous remercie avec la plus grande ferveur d'avoir été, pour moi, un grand maître.

À toi, Sophie, pour l'amour dont tu me fais preuve et le soutien de chaque instant que tu m'offres.

À mes amis, et notamment Wayl, Omar, Salomé, Alexandre, Dylan, Romain, Lucas et tous les autres. Merci pour ces années passées à vos côtés, et pour votre soutien qui me motive chaque jour.

À l'équipe du cabinet dentaire, Peggy, Charlotte et Elise, pour la joie de vivre que vous m'apportez au quotidien, pour votre soutien et l'écoute sans égale que vous m'accordez.

À l'équipe de l'école des Mines d'Albi, et notamment Damien, pour votre immense implication dans ma thèse. Elle n'aurait jamais été aussi complète et plaisante à réaliser sans votre aide si précieuse.

À l'ensemble des fournisseurs, et notamment ceux des sociétés GC, Ultradent ainsi qu'Ivoclar Vivadent, pour avoir rendu ce travail possible par la mise à disposition de l'ensemble du matériel nécessaire à l'établissement du protocole expérimental.

À notre président du jury et directeur de thèse,

Monsieur le professeur Jean-Noël VERGNES.

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Habilitation à Diriger des Recherches (HDR),
- Docteur en Epidémiologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Professeur associé, Oral Health and Society Division, Université McGill –Montréal, Québec – Canada,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

Je vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse ainsi que d'en assurer la direction.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon profond respect pour l'enseignement que vous nous avez dispensé avec tellement de qualité et de gentillesse.

Votre présence à nos côtés pendant le parcours pré-clinique et clinique était une réelle chance qui nous a permis d'acquérir les bases, ô combien importantes, de notre futur métier. Vous offrez, aux étudiants qui croisent votre chemin, un soutien indéfectible et votre passion pour l'enseignement nous profite à tous.

Pour tout cela, je vous remercie.

À notre jury,

Madame le Docteur Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN.

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

J'ai pu bénéficier de vos qualités d'enseignant et de praticien lors de mes cycles préclinique et clinique.

Je vous remercie tout particulièrement pour la confiance que vous avez su m'accorder lors de vos consultations spécialisées.

Enfin, merci pour votre pédagogie, vos conseils, votre disponibilité et votre gentillesse. Ce fût un réel plaisir de travailler à vos côtés.

Veillez trouver ici l'expression d'une grande estime et d'une grande considération.

À notre jury,

Monsieur le Docteur Karim NASR.

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier,
- Master 1 mention Biotechnologie-Biostatistiques,
- Master 2 Recherche en Science des Matériaux,
- Certificat d'Etudes Supérieures de technologie des matériaux employés en Art Dentaire,
- Certificat d'Etudes Supérieures de prothèse Dentaire (Option prothèse Scellée).

C'est un très grand honneur de vous compter parmi les membres de mon jury.

Nous vous remercions pour la qualité des enseignements apportés ainsi que pour l'encadrement clinique très enrichissant et pédagogique.

La générosité dont vous avez fait part à mon égard au travers de la formation que vous m'avez prodigué ne tombera jamais dans l'oubli.

Ce fût un réel plaisir de travailler à vos côtés, notamment pour réaliser mes premières empreintes optiques.

Veillez trouver ici l'expression de ma gratitude la plus sincère et de mon profond respect.

À notre jury,

Monsieur le Docteur Romain DUCASSÉ.

- Adjoint d'enseignement à la faculté de chirurgie dentaire de Toulouse,
- Ancien assistant hospitalo-universitaire en dentisterie restauratrice à l'université de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Certificat d'étude supérieure en dentisterie endodontique et restauratrice de la faculté d'odontologie de Toulouse,
- Diplôme d'études supérieures universitaire en odontologie restauratrice et esthétique de la faculté d'odontologie de Marseille.

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail.

Je vous remercie pour votre gentillesse, votre bienveillance, votre écoute et votre implication.

J'ai pu fournir ce travail grâce à vos conseils, votre rigueur, votre investissement et votre réactivité.

Mais j'ai également pris plaisir à travailler avec vous lors de mes différents stages d'observation.

Proche de vos étudiants, j'ai beaucoup appris à vos côtés et souvent je repense et j'applique vos précieux conseils.

Vous m'avez donné confiance en moi et appris la persévérance et la patience dans cette discipline qu'est la dentisterie restauratrice.

C'est pour tout cela, qu'il était important pour moi de vous choisir comme directeur de thèse.

Voyez en ce travail, l'expression d'une grande estime et d'une grande considération.

Table des matières

<i>I - Introduction :</i>	12
<i>II – Littérature scientifique :</i>	14
A – Qu’est-ce que l’IDS ?	14
B – Les avantages de l’IDS	14
a) Potentialiser les valeurs d’adhésion à la dentine	14
b) Éviter le collapsus de la couche hybride lors du collage de la pièce.....	15
c) Diminuer le risque de contamination due aux bactéries et ciments provisoires.....	15
d) Diminuer les sensibilités pulpaires en inter-séance.....	15
e) Réduction des besoins en anesthésie le jour de l’assemblage de la restauration.....	16
f) Optimisation de la géométrie cavitaire.....	16
C – Les inconvénients de l’IDS	17
a) Durée de la séance de préparation augmentée.....	17
b) Épaisseur de la couche d’inhibition importante si l’adhésif est utilisé seul	17
c) Nécessité d’une photopolymérisation anaérobie	18
d) Pollution des limites amélares.....	19
e) Interférences avec les matériaux à empreinte élastomériques.....	20
f) Interférences avec la temporisation.....	20
D – Le protocole d’IDS	21
E – Problématique liée à la photopolymérisation anaérobie de la base intermédiaire	23
<i>III - Matériels et méthodes :</i>	27
A - Sélection des dents et préparation	27
B - Procédure d’IDS	28
C - Calcul de l’aire de collage	30
D - Stockage des dents (Phase de temporisation).....	31
E - Traitements de surface	32
F - Analyse en microscopie confocale à balayage laser	35
G - Collage des pièces de céramique	36
H - Stockage des dents	39
I - Préparation des spécimens pour les tests de macro-cisaillement.....	39
J - Analyse des faciès de rupture en microscopie confocal à balayage laser.....	42
K - Analyses statistiques.	43
a) Échantillonnage.....	43

b) Tests statistiques.....	43
<i>IV - Résultats</i>	45
<i>V - Discussion</i>	50
Discussion sur les limites de l'étude	51
<i>VI - Conclusion</i>	53
<i>VII – Index des figures</i>	54
<i>VIII - Bibliographie</i>	56

I - Introduction :

Les restaurations indirectes collées, font partie de l'arsenal thérapeutique du chirurgien-dentiste et sont indiquées dans la reconstitution des pertes de substances dentaires (1).

Ces procédures de restauration indirectes, qu'elles soient partielles ou totales, qu'elles fassent appel aux composites ou aux céramiques, permettent une approche conservatrice de l'organe dentaire (2).

Cependant, lors de la préparation cavitaire pour ces restaurations, une quantité non négligeable de tissus dentinaire est alors exposée, et ce, jusqu'à l'assemblage final de la restauration.

Ainsi, en 2005, Magne propose une procédure d'hybridation dentinaire immédiate (ou scellement dentinaire immédiat – *Immediate Dentin Sealing* - IDS), afin de préserver et protéger le tissu dentinaire lors de l'inter-séance (3,4).

Il proposera, plus tard, une version modifiée de son protocole, en renforçant la couche d'IDS par l'ajout d'un fin liner de composite (5).

Cette IDS a plusieurs avantages, comme celui d'éviter la contamination dentinaire, de diminuer les risques de sensibilités post-opératoires, mais également d'augmenter les valeurs d'adhésion de la restauration (6,7).

Malheureusement, plusieurs questions demeurent en suspens autour de cette technique.

Par exemple, lors de l'assemblage, aucun protocole relatif aux traitements de surface n'est, à ce jour, validé scientifiquement.

Le problème majeur à considérer est que le principal substrat de collage n'est plus de la dentine, mais une surface composite que l'on appelle « base intermédiaire » (8).

Magne indique que la surface d'IDS doit être méticuleusement nettoyée à l'aide d'un sablage à l'oxyde d'alumine avant la procédure de collage.

Il est également indiqué que l'utilisation d'une pierre ponce ou d'une fraise diamantée à basse vitesse permet la création d'une surface irrégulière et un bon nettoyage de la surface (4).

La littérature ne donne, à ce jour, pas ou peu d'indication quant à la manière de traiter cette surface afin d'optimiser la force de collage de nos restaurations.

Ce travail de thèse consiste, tout d'abord, en une exploration de la littérature afin de tenter de déterminer les différents aspects de l'hybridation dentinaire immédiate et à évaluer les techniques les plus appropriées pour la traiter.

Le deuxième objectif de ce travail de thèse est ainsi de déterminer l'effet de différents traitements de surface de cette base intermédiaire sur la force d'adhésion d'une restauration en vitrocéramique enrichie au di-silicate de lithium.

Nous utiliserons ainsi, au moyen d'une étude expérimentale, des tests de macro-cisaillement (SBS) pour mesurer la force d'adhésion.

La perspective de ce travail est de fournir des données issues de la recherche afin de maximiser les valeurs d'adhésion et obtenir des résultats pérennes dans le maintien des restaurations indirectes collées.

Nous allons ainsi examiner différents facteurs qui peuvent affecter les valeurs d'adhésion, et notamment les différents traitements de surface et leurs protocoles d'application.

Enfin, nous nous efforcerons, au travers des conclusions, de formuler des recommandations pour les pratiques cliniques en utilisant les données obtenues à partir de ces recherches.

II – Littérature scientifique :

Avant d'introduire le protocole de recherche, il convient tout d'abord d'expliquer en détail ce qu'est l'IDS, ses avantages, ses inconvénients, et les lacunes dans le champ des connaissances qui nous ont conduits à la présente étude.

A – Qu'est-ce que l'IDS ?

Les préparations cavitaires entraînent, la plupart du temps, une exposition dentinaire laissant à nu des tubulis dentinaires ouverts.

Lorsqu'une restauration indirecte est entreprise, deux choix s'offrent au praticien après la phase de préparation cavitaire :

- Protéger d'emblée, et de manière succincte, la dentine à l'aide d'une restauration provisoire qui, outre sa faible étanchéité probable, n'empêche pas la dégradation des fibres de collagène intratubulaire.
- Avoir recours à un scellement dentinaire immédiat qui permet une protection du complexe pulpo-dentinaire et des fibres de collagène intratubulaire ; puis, apposer une restauration provisoire.

Le scellement dentinaire immédiat (*Immediate Dentin Sealing – IDS*) consiste en l'obtention d'une couche hybride à l'aide d'un système adhésif, et surmonté ou non d'une couche de composite.

Il vise à protéger les plages de dentine exposées le jour de la préparation (4).

Initialement décrit à l'aide d'un adhésif chargé type MR3 placé en couche épaisse, il est peu à peu remplacé par les adhésifs MR2 ou universels, moins chargés, répartis en couche fine et surmontés d'un liner de composite. Ce point sera détaillé dans les parties suivantes (5).

B – Les avantages de l'IDS

a) Potentialiser les valeurs d'adhésion à la dentine

En mettant en œuvre ce protocole de collage sur une dentine fraîchement coupée le recours à l'IDS permet d'obtenir des valeurs d'adhésion significativement plus élevées en comparaison à la technique différée (9).

De plus, en appliquant le principe du « delayed loading », c'est-à-dire un collage différé de la restauration définitive, la stabilisation de la couche hybride dans le temps permet de potentialiser les valeurs d'adhésion dentinaire (9).

Dans leur étude de 2007, Magne et al. montrent que l'adhésion d'une restauration indirecte sur une dentine ayant subi une IDS augmente progressivement au cours du temps, et que la valeur maximale est atteinte au bout de 7 semaines après l'application de la résine adhésive (9).

b) Éviter le collapsus de la couche hybride lors du collage de la pièce

La polymérisation de l'adhésif est indispensable pour assurer la qualité de l'interface et des valeurs d'adhésion optimales (10).

Si l'adhésif est polymérisé avec le composite lors de l'assemblage, la pression exercée sur les fibres de collagène engendre un collapsus de ces dernières ; ceci fragilise alors la couche hybride (11,12).

L'hybridation dentinaire avant l'empreinte permet alors de solutionner ce problème.

De plus, le non recours à la polymérisation de l'adhésif engendre un risque d'inclusion de celui-ci au sein du composite de collage ; ceci pouvant alors entraver ses propriétés mécaniques et abaisser la durabilité du joint de collage (10,13).

c) Diminuer le risque de contamination due aux bactéries et ciments provisoires

L'hybridation dentinaire immédiate préserve de la pollution dentinaire par les matériaux temporaires (14).

En effet, la qualité de l'élimination de ceux-ci influence grandement le succès de l'assemblage.

Or, leur élimination dentinaire peut s'avérer complexe de par leur infiltration potentielle au sein des tubulis (14).

Ainsi, entreprendre une procédure de collage après la préparation, et par l'utilisation conjointe du champ opératoire, permet de s'affranchir de la contamination dentinaire par les matériaux provisoires ou bactéries ; l'IDS formant ainsi une barrière mécanique (15).

En effet, les résines provisoires n'étant pas étanches, c'est l'IDS qui assure alors cette fonction.

Ces résines, souvent des résines siliconées type Télió CS, souples et photopolymérisables, ne remplissent alors qu'un rôle de calage avec les dents adjacentes ; limitant ainsi les mouvements dentaires durant la phase de temporisation (16,17).

Cette barrière mécanique ainsi formée protège également contre les micro-organismes et les dissolutions acides provenant de l'alimentation.

d) Diminuer les sensibilités pulpaires en inter-séance

Si ces restaurations peuvent être entreprises indépendamment de la vitalité de la dent, une proportion non négligeable est réalisée sur dent vivante.

L'exposition dentinaire engendrée par la réalisation de la cavité peut être responsable de sensibilités durant l'inter-séance ; ceci dû aux mouvements bidirectionnels du fluide dentinaire engendrant une réponse pulpaire associée.

C'est la théorie hydrodynamique décrite par Brannstrom en 1966 (18–20).

Cette barrière mécanique apportée par l'IDS permet ainsi de protéger le complexe dentino-pulpaire et diminue, voire annihile, les sensibilités pendant la phase de temporisation (4).

e) Réduction des besoins en anesthésie le jour de l'assemblage de la restauration

Lors du retrait de la provisoire, la surface dentinaire non hybridée est alors sensible à beaucoup de procédures :

- Séchage
- Rinçage
- Pression de l'assemblage

Toutes ces manœuvres engendrent un déplacement du fluide intratubulaire rapide et fugace entraînant des sensibilités pulpaires (18–20).

Ainsi, l'IDS réalisée le jour de la préparation, représente une barrière mécanique minimisant ces sensibilités lors de la séance d'assemblage.

Ainsi la seule anesthésie nécessaire est, dans la plupart des cas, très superficielle, en gencive attachée uniquement, permettant une mise en place aisée du champ opératoire. Le recours à l'anesthésie à visée pulpaire est ainsi, le plus souvent, écarté.

f) Optimisation de la géométrie cavitaire

En associant un composite à l'adhésif utilisé lors de la mise en œuvre de l'IDS, il est possible d'optimiser la géométrie de la cavité (2).

Ce « build-up », ou « base intermédiaire », représente alors un véritable substitut dentinaire permettant un aménagement de la cavité dans le but de diminuer l'épaisseur de la restauration dans des zones où la préparation serait trop profonde ; ceci afin d'homogénéiser les épaisseurs au sein de la céramique et donc de mieux répartir les contraintes (8,21).

Également, cette procédure permet le comblement de potentielles contre-dépouilles, garantissant ainsi une préservation tissulaire maximale (2,4).

En revanche, dans une cavité peu profonde et remplissant d'emblée les critères d'épaisseur du matériau en céramique, le recours à cette procédure serait susceptible d'occuper un volume trop important et de diminuer ainsi dangereusement l'épaisseur de la pièce, la fragilisant ainsi inévitablement (22).

L'association à un composite présente l'avantage d'augmenter la stabilité de l'IDS lors de la phase d'assemblage et notamment de protéger la couche hybride d'une dégradation par différents traitements de surface tels que le sablage.

Magne propose, en ce sens, une technique dite d'IDS « renforcée » afin de protéger plus efficacement cette couche hybride en associant, au système adhésif, un liner de composite (5).

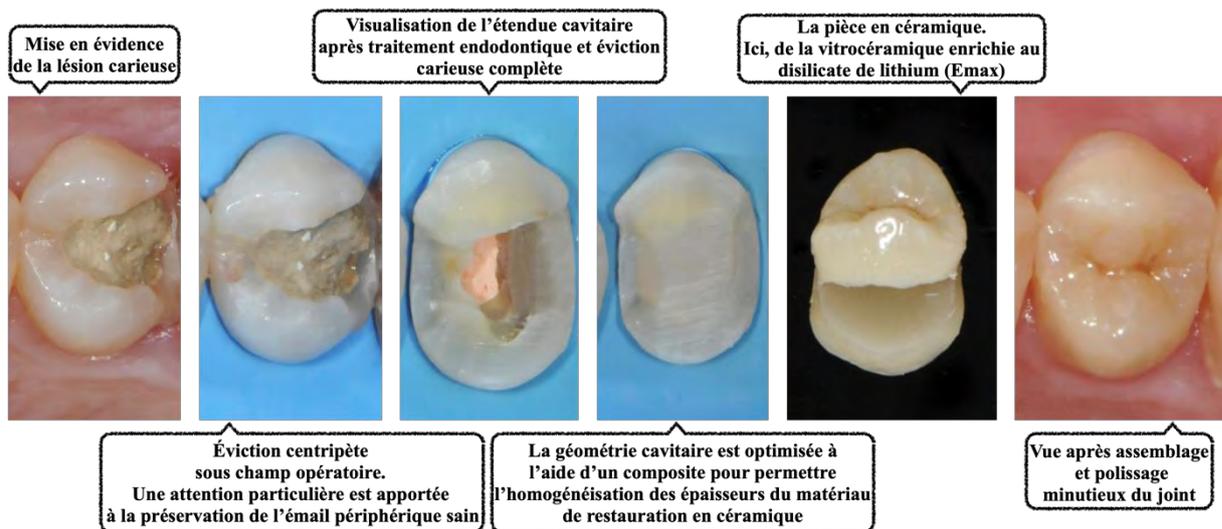


Figure 1 : Photos cliniques montrant l'importance de la réalisation d'une base intermédiaire dans la répartition des contraintes au sein du matériau céramique. Ces contraintes sont ainsi mieux réparties par l'homogénéisation des épaisseurs du matériau de restauration en céramique.

C – Les inconvénients de l'IDS

a) Durée de la séance de préparation augmentée

La procédure d'IDS est une entreprise nécessitant un protocole rigoureux et complexe afin d'aboutir à une hybridation exclusivement dentinaire. Le champ opératoire est, dans la majorité des cas, obligatoire pour permettre un meilleur contrôle de l'humidité sur le tissu dentinaire.

Ceci complique immanquablement la séance de soin qui requiert alors un temps de travail prolongé lors de la séance clinique dédiée à la préparation.

b) Épaisseur de la couche d'inhibition importante si l'adhésif est utilisé seul

Lors de la photopolymérisation des résines adhésives ou composites, un phénomène d'inhibition de polymérisation se forme en surface par contact avec l'oxygène présent dans l'air.

En effet, à l'instar des dérivés phénolés comme l'eugénol par exemple, l'oxygène représente un puissant inhibiteur de polymérisation des résines.

Cette couche d'inhibition qui se forme en surface représente alors une zone de moindre résistance de l'adhésif ou du composite, puisque non photopolymérisée.

Ainsi, si lors de la procédure d'IDS, seul l'adhésif est utilisé, il convient d'avoir recours à un adhésif préférentiellement chargé, placé en couche épaisse et non soufflé. Ceci pour deux raisons :

- Les charges présentes au sein de l'adhésif lui permettront de supporter les contraintes en inter-séance
- La formation de la couche d'inhibition à l'oxygène est inévitable et d'épaisseur constante (23).

Le recours à une couche d'adhésif importante garantit qu'elle soit supérieure, en épaisseur, à celle de la couche d'inhibition à l'oxygène (24).

Ainsi, il demeure, en profondeur une couche polymérisée d'adhésif évitant l'affaissement des fibres de collagène lors du futur collage.

De plus, si une couche trop fine est utilisée, la procédure de sablage, ou autre traitement mécanique de surface, lors de la séance d'assemblage risquerait d'entraîner une exposition de plages dentinaires par destruction de la couche d'IDS dans des zones d'épaisseurs critiques (25).

c) Nécessité d'une photopolymérisation anaérobie

À la fin de l'application de l'adhésif ou du composite, une photopolymérisation anaérobie doit être réalisée grâce à l'utilisation d'un gel de glycérine (26).

Ce dernier permet d'éviter la présence d'oxygène au contact des résines et d'aboutir à une polymérisation complète en surface.

La glycérine est, contrairement à la vaseline, un agent totalement hydrosoluble et non gras ; il peut donc être rincé sans difficulté à l'aide d'un spray d'eau en fin de photopolymérisation.

Il est également transparent permettant la polymérisation à travers tout en jouant le rôle d'isolant à l'oxygène.

Le recours à un liner de composite surmontant la couche d'adhésif peut, si la profondeur de préparation le permet, être une bonne alternative à l'adhésif chargé apposé en couche épaisse (5).

L'emploi de gel de glycérine reste néanmoins nécessaire en fin d'application suivi d'un polissage minutieux qui contribue également à l'élimination de cette couche d'inhibition (27).

d) Pollution des limites amélares

Lors de la procédure d'IDS, de l'adhésif peut polluer les limites de la préparation. Il convient de supprimer ces conglomérats de résine qui viendraient polluer l'émail périphérique.

En effet, l'IDS est une procédure n'intéressant que la dentine.

L'émail n'engageant pas de communication avec l'organe pulpaire, celui-ci ne nécessite pas d'être recouvert d'une couche de résine.

Également, si des conglomérats venaient à persister sur ce tissu, ils empêcheraient un collage à l'émail efficace et les valeurs d'adhésion de la pièce en seraient drastiquement réduites.

Cette élimination des excès d'adhésif se réalise après la photopolymérisation sous gel de glycérine de la couche d'adhésif pour ne pas projeter de l'eau, ou autres particules issues du fraisage, sur une couche d'adhésif partiellement polymérisée (4).

Il convient également de veiller à ne pas réexposer de plages dentinaires lors de la procédure sous peine de devoir recommencer l'hybridation.

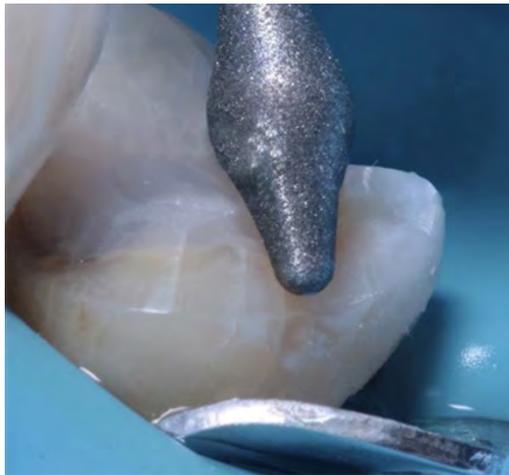


Figure 2 : Photo clinique du Dr Louis Maffi Berthier mettant en évidence l'importance de l'élimination des conglomérats résineux après la procédure d'IDS afin d'assurer une hybridation uniquement dentinaire. Ici, une fraise à grains extra-fins (bague jaune) est utilisée.

e) *Interférences avec les matériaux à empreinte élastomériques*

Les monomères libres en surface de l'IDS peuvent interférer avec les matériaux à empreinte et notamment les polyéthers (28).

Ces derniers, à l'instar des silicones dans une moindre mesure, peuvent être sujet à des déchirures lors de la désinsertion.

Ce phénomène est dû à l'accroche du matériau à empreinte à la couche d'inhibition en surface.

Ces déchirures pourraient alors fausser l'empreinte et entraîner une mauvaise adaptation de la pièce, limitant son étanchéité marginale et sa pérennité.

L'utilisation de ces matériaux à empreinte est alors recommandée conjointement au recours à une photopolymérisation sous gel de glycérine et d'un polissage soigneux qui permet de diminuer grandement le phénomène d'interférence (27,28).

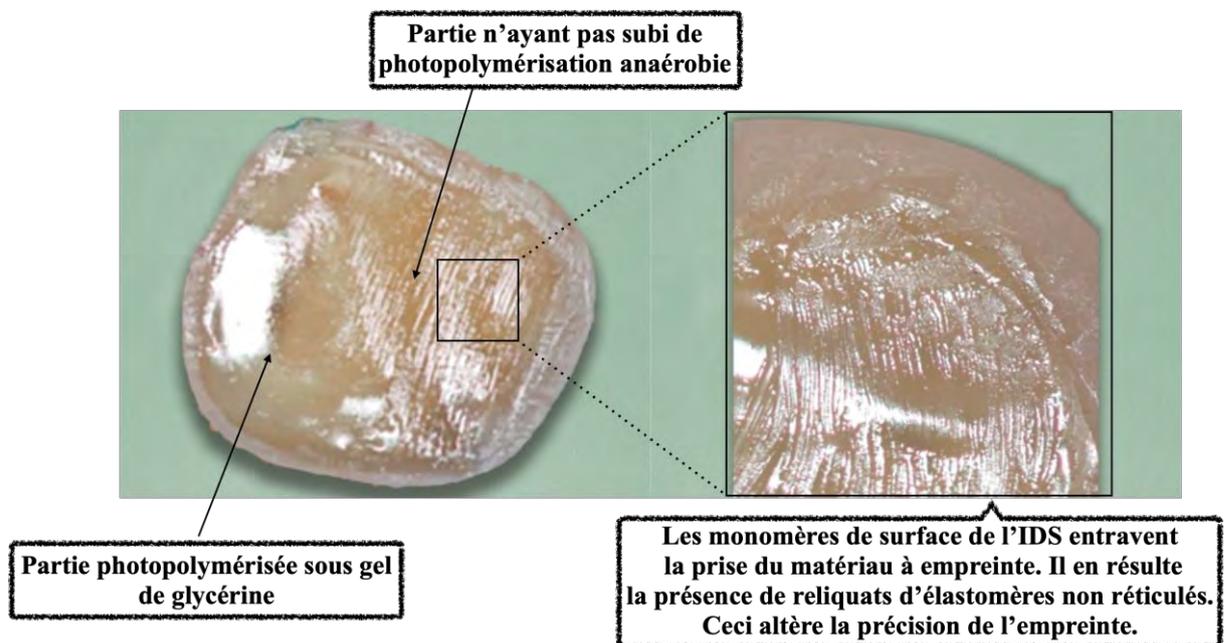


Figure 3 : Clichés montrant l'interférence existant entre les matériaux à empreinte élastomériques et la couche d'inhibition à l'oxygène. Source : (28)

f) *Interférences avec la temporisation*

Pour la même raison que les matériaux à empreinte, il est absolument nécessaire de supprimer la couche d'inhibition à l'oxygène pouvant jouer le rôle d'intermédiaire de liaison entre l'IDS et le matériau d'obturation provisoire résineux (résine bi-acrylique, résine souple photopolymérisable, etc...).

Sans photopolymérisation anaérobie et/ou polissage associé, la difficulté de dépose du matériau provisoire est augmentée.

Il existe ainsi un risque de dépose incomplète qui pourrait compliquer grandement la séance d'assemblage, empêchant potentiellement l'insertion de la pièce.

D – Le protocole d’IDS

Le protocole d’IDS est un protocole extrêmement rigoureux ; le succès de chaque étape étant dépendant de la bonne mise en œuvre de la précédente.

Nous détaillons ici le protocole standard, tel que décrit, notamment par Magne et al. (4) :

1. La mise sous champ opératoire du site est un prérequis absolu à l’obtention d’une couche hybride stable et pérenne ; ceci afin de contrôler précisément le taux d’humidité du substrat et d’éviter toute contamination du site lors de la procédure (29).
2. La préparation est réalisée en suivant les principes standards ménageant l’espace nécessaire pour le matériau tout en conservant un maximum de structure dentaire résiduelle (2).
Une attention particulière est attribuée à la préservation des limites amélaire.
3. Une fois la préparation terminée un mordantage, sur dentine sèche, est entrepris à l’acide orthophosphorique à 37% pendant 15 secondes.
Un mordantage excessif s’avèrerait délétère ; en déminéralisant trop la dentine, des vides se créent sous la couche d’adhésif (phénomène de nanoleakage) entravant la stabilité et la pérennité de la couche hybride (30).
4. Rinçage abondant
5. Le protocole de « wet bonding » débute en séchant totalement la dentine puis en venant la réhydrater légèrement à l’aide d’un microbrush imbibé d’eau, d’une solution d’éthanol ou d’une solution de chlorhexidine aqueuse (31–33).
Ceci afin de prévenir un affaissement de la trame collagénique pouvant empêcher la formation d’une couche hybride de bonne qualité.

6. Le mode d'application de l'adhésif est différent en fonction du type d'adhésif utilisé :
 - S'il s'agit d'un adhésif de type MR3 chargé :
 - L'application d'un primer est entreprise à l'aide d'un deuxième microbrush, frotté énergiquement pendant 15 secondes au minimum puis séché délicatement pour permettre l'évaporation des solvants.
 - L'adhésif est alors mis en place à l'aide d'un troisième microbrush, frotté énergiquement pendant 15 secondes au minimum, réparti en couche épaisse et non soufflé (MR3 Chargé).
 - La photopolymérisation de l'adhésif est alors réalisée pendant 20 secondes en corrélation avec les recommandations du fabricant, afin de permettre une stabilité primaire de la couche hybride (13). Celle-ci subira une maturation progressive durant les minutes suivantes (34).
 - S'il s'agit d'un adhésif universel ou MR2 faiblement chargé :
 - L'application d'adhésif se réalise à l'aide d'un deuxième microbrush, frotté énergiquement pendant 15 secondes au minimum puis soufflé pour le répartir en couche fine et permettre l'évaporation des solvants. Celui-ci devra être photopolymérisé et obligatoirement surmonté d'un fin liner de composite afin d'assurer la stabilité de la couche hybride (5).
7. S'il est nécessaire d'optimiser la géométrie cavitaire, un composite peut être appliqué dans des zones de contre dépouilles ou des zones où les épaisseurs de céramique seraient trop importantes. Dans ce cas, l'adhésif qui le précède ne sera placé qu'en couche fine.

Ce composite peut être un composite fluide ou un composite de restauration chargé et compactable.
8. La photopolymérisation du composite est alors réalisée pendant 40 secondes en corrélation avec les recommandations du fabricant.
9. Une fois l'optimisation de la géométrie cavitaire terminée une seconde photopolymérisation sous gel de glycérine est réalisée pendant 40 secondes afin de supprimer la couche d'inhibition à l'oxygène en permettant l'inclusion des monomères en surface dans une chaîne de polymère.
10. Une fois le protocole d'IDS terminé il est nécessaire de re préparer légèrement les limites amélares éventuellement polluées par des congglomérats résineux (4). Cela peut être réalisé à l'aide d'inserts diamantés montés sur pièce à main ultrasonique ou de fraises à grains extra-fins (bague jaune) montées sur turbine.
11. Pour terminer un polissage minutieux de la préparation est réalisé et l'empreinte à l'aide d'un matériau élastomérique peut être entreprise sans risque de déchirure (27,28).

E – Problématique liée à la photopolymérisation anaérobie de la base intermédiaire

La présence de monomères libres en surface d'un composite, notamment grâce à l'existence de la couche d'inhibition à l'oxygène, permet la liaison des résines entre elles (23).

Ceci constitue un désavantage lors des phases d'empreinte et de temporisation mais constituerait un avantage crucial lors de la séance d'assemblage.

En effet, chaque monomère en surface de l'IDS possède une extrémité réactive pouvant engager une liaison chimique à un monomère provenant de la résine de collage.

La photopolymérisation sous gel de glycérine, associée à un polissage minutieux, permet d'endiguer ce phénomène siégeant dans cette partie superficielle limitant ainsi l'accroche aux matériaux provisoires résineux et aux matériaux d'empreinte (35).

Ainsi, suite à cela, il n'y a, théoriquement, plus de monomères capables d'initier une liaison entre la base intermédiaire et la résine de collage lors de la séance l'assemblage.

Il est d'usage de rappeler que le taux de conversion des composites est de l'ordre de 50 à 60% ; ce qui signifie que 40 à 50% des monomères présents au sein de la matrice résineuse se retrouvent, après polymérisation, non inclus dans une chaîne de polymère.

Leurs extrémités réactives sont alors toujours aptes à lier d'autres monomères et s'inclure ainsi, à leur tour, dans une chaîne de polymère.

Il est ainsi légitime de se questionner quant aux traitements de surface à mettre en œuvre pour réexposer ces monomères et rendre cette base intermédiaire permissive au collage.

Le sablage, permettrait, par exemple, non seulement la réexposition de ceux-ci, mais également de créer des micro-anfractuosités permettant à la résine de collage d'y exercer un ancrage mécanique.

Peu d'études à ce jour montrent l'influence des traitements de surface de cette base intermédiaire dans l'optimisation des valeurs d'adhésion de nos restaurations indirectes. Ainsi, lorsqu'on interroge la base de données Pubmed sur la base des termes « IDS Surface treatment », peu de résultats sont trouvés.

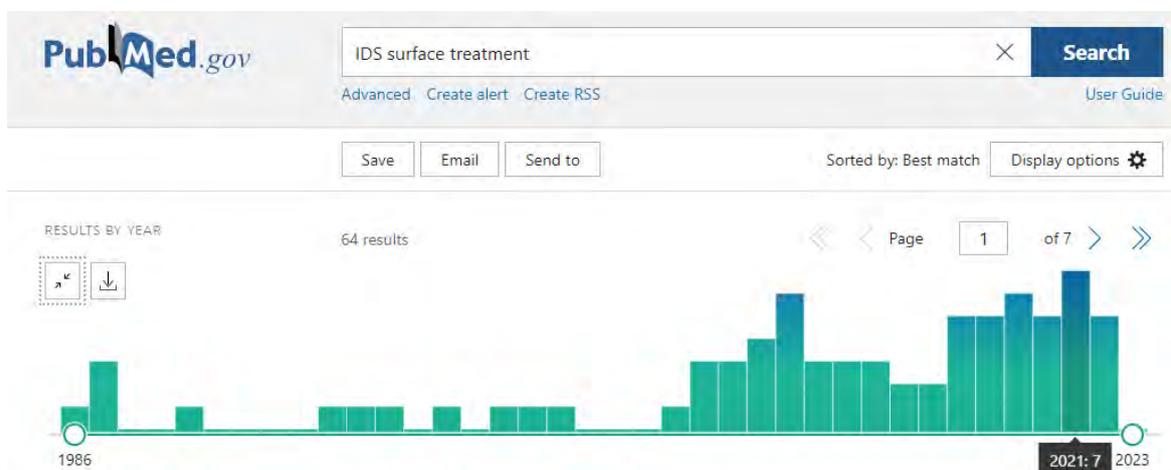


Figure 4 : Tableau montrant les résultats obtenus en interrogeant la base de données Pubmed sur le sujet des traitements de surface de l'IDS. Un très faible nombre d'études existe sur ce sujet.

Également, l'utilisation de termes connexes comme « Prehybridized dentin » ne donne que 2 résultats tandis que les termes « Immediate dentin sealing » donnent 196 résultats au 27/02/2023.

Enfin, parmi ces résultats, seule une étude porte sur l'effet des traitements de surface de l'IDS sur les valeurs d'adhésion.

> [J Adhes Dent. 2009 Jun;11\(3\):231-7.](#)

Microtensile bond strength of prehybridized dentin: storage time and surface treatment effects

Alvaro L K Dillenburg¹, Clarissa G Soares, Maria Paula G Paranhos, Ana Maria Spohr, Alessandro D Loguercio, Luis Henrique Burnett Jr

Figure 5 : Étude montrant l'intérêt des traitements de surface sur la force d'adhésion à la dentine pré-hybridée.

Cette étude comporte cependant plusieurs limites :

- Premièrement, une limite temporelle. En effet, les groupes témoins ne subissent pas d'IDS mais un collage d'un composite le jour de la préparation en omettant le recours à une phase de temporisation. Ainsi, cette étude compare un collage immédiat, à un collage différé sur une couche d'adhésif déjà polymérisée.

- Deuxièmement, une limite relative à l'indication.
Il est important de noter que l'IDS s'adresse au collage de restaurations indirectes. Ainsi, si l'indication d'une restauration directe est posée, l'hybridation dentinaire et la restauration par un matériau inséré en phase plastique se font suite. Cependant, dans cette étude, il n'est mentionné l'utilisation que d'un composite en technique directe, y compris pour les groupes tests. Nous sortons donc de l'indication de l'IDS.
- Enfin, une limite méthodologique.
L'étude en question porte sur l'utilisation de deux adhésifs (SB et PB dans le tableau ci-après) de type MR2 sans utilisation de liner de composite. Comme mentionné précédemment, ces adhésifs étant peu chargés, les traitements de surface réalisés lors de la séance d'assemblage peuvent réexposer la dentine sous-jacente.

Il convient cependant de contextualiser cette limite.

En effet, la littérature appuyant le renforcement de l'IDS par l'utilisation d'un composite n'est confirmée que bien plus tard, et notamment grâce à l'étude de Magne et al. en 2021 (5).

Le tableau suivant indique les résultats, en Mpa, de la résistance à la microtraction des échantillons ayant subis différents traitements de surface.

Il montre également l'influence des traitements de surface sur l'épaisseur de la couche d'adhésif.

Table 3 Mean microtensile bond strength values (MPa) and standard deviation (SD) and mean adhesive layer thickness (ALT in μm) and standard deviation, for the main factor surface treatment for each adhesive system

Surface Treatment	$\mu\text{TBS (MPa)} \pm \text{SD}^*$	ALT (μm) \pm SD *
SB control	41.4 \pm 8.2 (A)	28.5 \pm 3.8 (G)
SB AO	23.9 \pm 5.7 (B,C)	31.3 \pm 1.3 (F)
SB PA	28.2 \pm 4.9 (B)	58.3 \pm 6.1 (D)
SB AO + PA	44.6 \pm 9.8 (A)	35.7 \pm 3.3 (E)
PB control	40.6 \pm 10.8 (a)	25.2 \pm 3.8 (g)
PB AO	18.8 \pm 4.7 (c)	28.4 \pm 3.9 (f)
PB PA	29.4 \pm 4.7 (b)	54.4 \pm 4.6 (d)
PB AO + PA	46.6 \pm 10.2 (a)	32.5 \pm 2.5 (e)

* Means followed by the same upper or lower case letter in the same column show no statistical difference according to Tukey's test for each adhesive ($p < 0.05$)

Figure 6 : Tableau montrant les résultats de la résistance à la microtraction et de l'épaisseur de la couche d'adhésif en fonction des différents traitements de surface. Légende : SB et PB sont les deux types d'adhésif utilisés ; AO = Sablage à l'oxyde d'alumine ; PA = Acide orthophosphorique.

Les résultats de ce tableau indiquent plusieurs choses :

- Tout d'abord, peu importe l'adhésif utilisé, il est démontré que l'utilisation du sablage dégrade fortement la couche d'adhésif (SB OA, SB OA + PA, PB OA et PB OA + PA).
- Si l'on classe de manière croissante les valeurs d'adhésion par rapport aux traitements de surface entrepris on obtient Sablage (OA) < Acide orthophosphorique (PA) < Sablage + acide orthophosphorique (OA + PA).

Ainsi, les résultats de cette étude peuvent être analysés de manière simple.

L'utilisation du sablage sur une couche d'adhésif seule dégrade fortement la couche d'IDS, réexposant des plages dentinaires non hybridées. Cela explique donc la chute des valeurs d'adhésion par rapport aux groupes témoins.

L'utilisation d'acide orthophosphorique après l'utilisation du sablage permet un mordantage des plages dentinaires réexposées, et donc l'obtention d'une nouvelle couche hybride le jour du collage. Cela explique les hautes valeurs d'adhésion obtenues.

Ces résultats sont analysés de la même façon par les auteurs eux-mêmes dans la partie discussion de l'article :

« The results of the present study showed that among the experimental groups, the subgroups AO + PA presented the best results. This occurred because the areas where the adhesive layer was thinned or removed may have been repaired after the renewed etching and adhesive layer application. Moreover, the adhesive thickness was lower in comparison with the PA groups, indicating that the application of aluminum oxide really removed just the adhesive surface; however, the phosphoric acid conditioning improved the interaction of the second adhesive layer with the previously hybridized surface, increasing the bond strength values and re-establishing the fracture pattern observed in the control groups »

Nous entrevoyons donc là le potentiel intérêt du renforcement de l'IDS par l'utilisation d'un composite.

Ainsi, la question se pose de l'intérêt des traitements de surface de cette base intermédiaire dans l'optimisation des valeurs d'adhésion de restaurations indirectes en céramique.

C'est donc là l'objet de notre étude expérimentale.

III - Matériels et méthodes :

A - Sélection des dents et préparation

70 dents de sagesse, extraites à des fins thérapeutiques et indemnes de toute lésion carieuse ou résorption ont été immergées dans une solution désinfectante de chloramine à 0,5% pendant 48 heures (36).

Une section de la couronne en son tiers médian est réalisée à l'aide d'un disque abrasif diamanté monté sur une meule de marque Buehler parallèlement à la table occlusale afin d'exposer complètement la dentine.

Un séchage complet et une analyse aux loupes binoculaires permet de s'assurer de l'absence d'émail persistant au niveau du fond des sillons principaux.



Figure 7 : Photos d'un échantillon placé sur un cube de silicone et illustrant la section transversale effectuée parallèlement à la table occlusale. Une attention particulière est apportée à l'élimination d'émail pouvant persister au fond des sillons.

Une fois la section transversale effectuée, les dents sont placées sur un cube de silicone permettant leur maintien, puis, l'émail périphérique est éliminé à l'aide d'une fraise épaulement à angle interne arrondi (6837KR.314.012 VPE 5-Komet France) en utilisant la technique de pénétration contrôlée sur une hauteur de 3 à 5 millimètres. Cela permet de s'affranchir d'un éventuel collage à l'émail qui biaiserait les résultats.

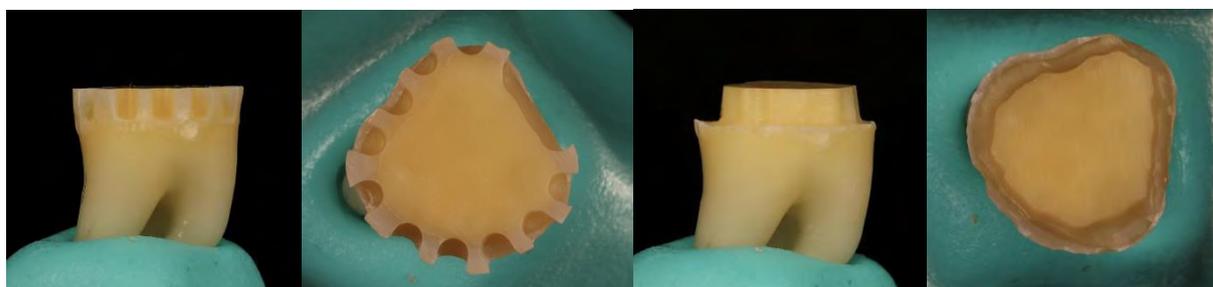


Figure 8 : Photos illustrant l'élimination complète de l'émail périphérique.

Les dents sont, à partir de ce moment-là, et entre toutes les étapes, conservées dans une solution de sérum physiologique pour les prévenir de la déshydratation.

B - Procédure d'IDS

La procédure d'IDS est la même pour tous les échantillons.

Dans un premier temps, la dent est séchée pour prévenir l'effet tampon de l'eau et l'ensemble de la table occlusale est mordancée à l'aide d'un gel d'acide orthophosphorique à 35% (Ultra-Etch™ 35% Phosphoric Acid-Ultradent) pendant 15 secondes via une surface porteuse afin de s'assurer d'un temps de pose du gel homogène sur toute la surface de la dent.

La dent est rincée abondamment puis entourée d'une matrice souple en caoutchouc permettant de réaliser un coffrage dépassant de 1mm de la hauteur de la dent. Celle-ci permettra une apposition standardisée de résine sur l'ensemble des dents à la fin du protocole d'IDS.



Figure 9 : Photos illustrant la phase de mordancage dentinaire suivie du rinçage abondant ainsi que du coffrage à l'aide d'une matrice en caoutchouc ménageant 1mm de hauteur pour la résine d'IDS.

La dent est alors séchée totalement avant d'être réhydratée à l'aide d'un microbrush légèrement imbibé d'eau. S'en suit un séchage doux via une pression d'air négative (aspiration) sans appliquer de pression positive sur la dentine déminéralisée, ceci afin d'obtenir une dentine partiellement humide (wet bonding).

L'adhésif de type MR2 (Adhese® Universal Vivapen-Ivoclar Vivadent) est ensuite apporté via l'embout applicateur fourni dont la quantité est standardisée à une pression par dent puis frotté énergiquement pendant 15 secondes suivi d'un flux d'air sec doux pendant 10 secondes à une distance de 3 cm de la dent afin de le répartir en couche fine et permettre l'évaporation des solvants.

La photopolymérisation est effectuée à l'aide d'une lampe à photopolymériser (VALO™ Corded LED Curing Light-Ultradent) dont la puissance est réglée à 1400 mW/cm² pendant 20 secondes.

Le coffrage réalisé est alors rempli jusqu'à une hauteur de 0.5mm avec un composite de texture fluide (G-ænial® Universal Flo A2-GC).

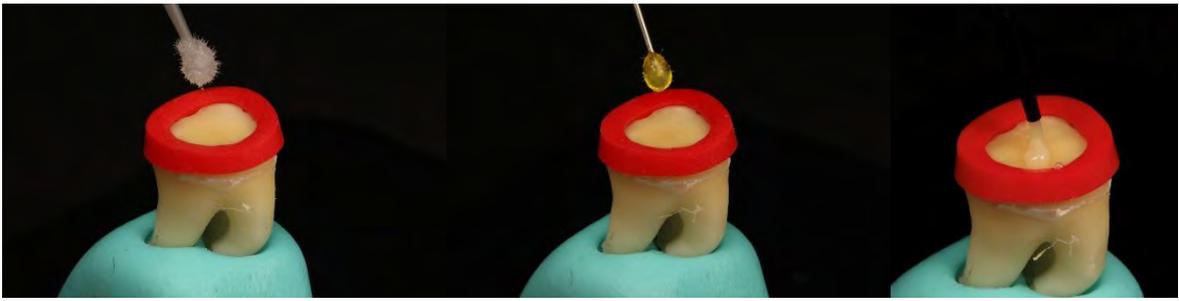


Figure 10 : Photos illustrant la phase de réhydratation dentinaire suivie de la mise en place de l'adhésif, puis d'un composite fluide.

Le composite est alors photopolymérisé pendant 40 secondes à une puissance de 1400mW/cm² à une distance de 1mm de la surface résineuse pendant les 5 premières secondes, puis collé à la surface les 35 restantes.

Un polissage de la surface et des bords du composite est réalisé à l'aide de roues de polissage de granulométrie décroissante (4678-Coffret Polissoirs Kompoline Spirale-Komet France).

Une nouvelle photopolymérisation, anaérobie avec enduction d'un gel de glycérine, est réalisée à une puissance de 1400mW/cm² pendant 20 secondes.

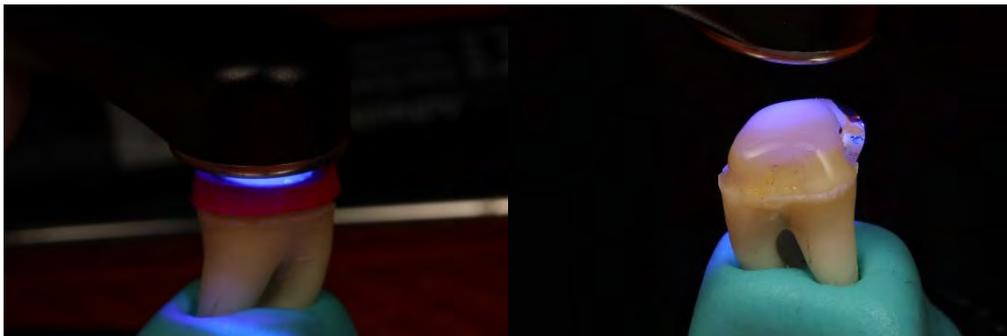


Figure 11 : Photos illustrant la phase de photopolymérisation primaire puis avec enduction d'un gel de glycérine du composite fluide.

C - Calcul de l'aire de collage

Un calcul de l'aire de collage de chaque dent est réalisé, à l'École nationale supérieure des mines d'Albi-Carmaux, à l'aide d'un objectif apochromatique (Z16 APO A-Leica) permettant une analyse précise à partir d'une prise de vue sans parallaxe.

Pour réaliser cela, chaque dent est d'abord parallélisée par rapport au plan d'acquisition à l'aide d'une presse de microscopie de marque Zeiss.



Figure 12 : Photos illustrant le dispositif de presse permettant un parfait parallélisme par rapport au plan d'acquisition de l'aire de collage.

Une fois le parallélisme obtenu, la dent est alors placée sous le dispositif d'acquisition permettant le calcul de l'aire de collage.

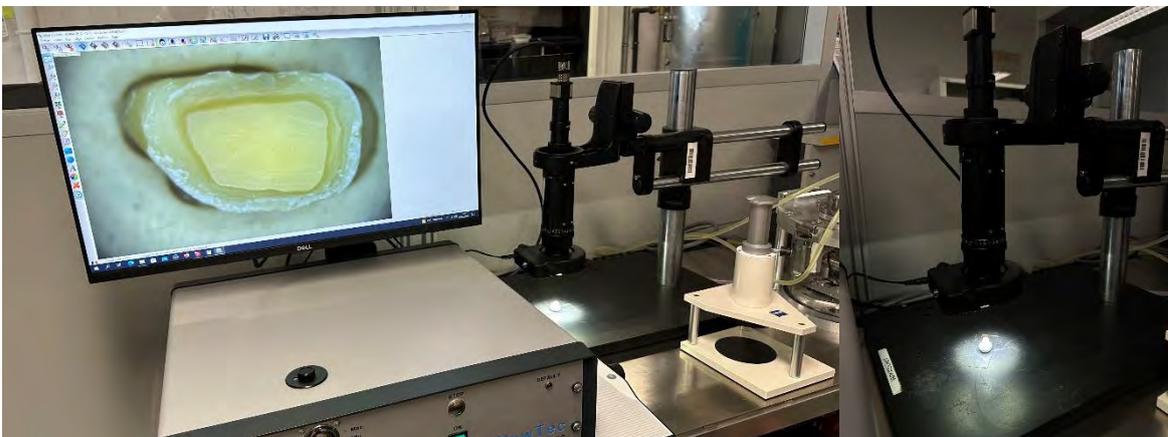


Figure 13 : Photos illustrant le dispositif de presse et d'acquisition permettant le calcul de l'aire de collage.

Une restauration provisoire (Telio® Onlay-Ivoclar Vivadent) est placée au contact de la totalité de la surface et des bords puis photopolymérisée 40 secondes à 1400mW/cm² à une distance de 1mm de la surface résineuse pendant les 5 premières secondes, puis collé à la surface les 35 restantes.



Figure 14 : Photo illustrant la mise en place d'une restauration provisoire.

D - Stockage des dents (Phase de temporisation)

Une fois toutes les dents préparées, celles-ci sont alors thermocyclées, à la Faculté de chirurgie-dentaire de Toulouse, dans des bains à 5°C puis 55°C en alternance toutes les 20 secondes pendant 100 cycles dans le but de simuler le vieillissement lors de l'inter-séance estimé à 7 jours.



Figure 15 : Photo illustrant le dispositif de thermocyclage.

E - Traitements de surface

Après la période de stockage, la restauration temporaire est retirée et les éventuels excès retirés avec un CK6 (SCK 66-Hu Friedy).

Les dents sont alors réparties aléatoirement en 7 groupes de 10 échantillons chacun comme décrit ci-après :

- Groupe contrôle : Aucun traitement de surface n'est appliqué. Une simple décontamination à l'aide d'un coton imbibé d'alcool à 90° est réalisée sur la base intermédiaire résineuse.



Figure 16 : Photo de la décontamination à l'aide d'un coton imbibé d'alcool pour les dents du groupe Contrôle.

- Groupe test 1 (SB) : Un sablage à l'oxyde d'alumine à 53 μm (Aquacare Twin-Velopex International with Aluminium oxyde powder 53 μm -Velopex International) est réalisé à 3bar à 2cm de la surface résineuse pendant 4sec.



Figure 17 : Photo du sablage à l'oxyde d'alumine des dents du groupe SB

- Groupe test 2 (OA) : Une application d'acide orthophosphorique à 35% (Ultra-Etch™ 35% Phosphoric Acid-Ultradent) pendant 30 secondes sur base intermédiaire sèche est réalisée avant rinçage abondant puis séchage pendant 10 secondes.

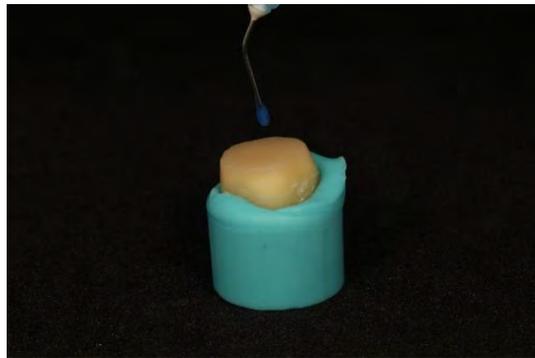


Figure 18 : Photo de l'application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe OA

- Groupe test 3 (SB + OA) : Un sablage à l'oxyde d'alumine à 53 µm est réalisé (Aquacare Twin-Velopex International with Aluminium oxyde powder 53 µm-Velopex International) à 3bar à 2cm de la surface résineuse pendant 4sec suivi d'un rinçage abondant, d'un séchage et d'une application d'acide orthophosphorique à 35% (Ultra-Etch™ 35% Phosphoric Acid-Ultradent) pendant 30 secondes sur la base intermédiaire avant rinçage abondant puis séchage pendant 10 secondes.

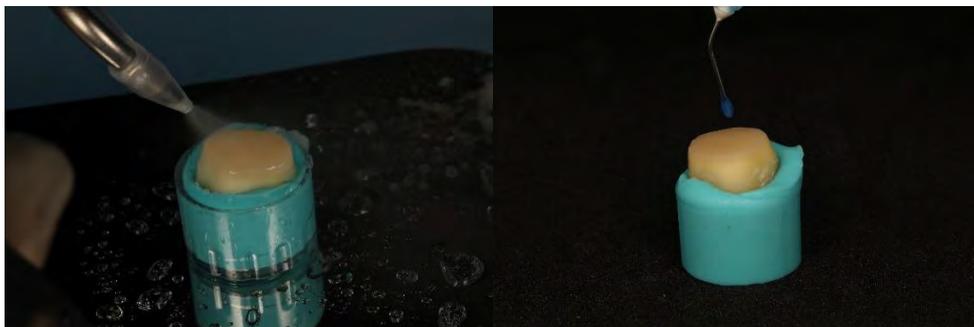


Figure 19 : Photos du sablage à l'oxyde d'alumine puis application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe SB + OA

- Groupe test 4 (M) : Un fraisage de surface à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée est réalisé afin de simuler l'utilisation d'une fraise diamantée à gros grains comme le préconisent certains auteurs. (37)



Figure 20 : Photo du fraisage à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée sur les dents du groupe M

- Groupe test 5 (M + OA) : Un fraisage de surface à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée est réalisé suivi d'un rinçage abondant, d'un séchage et d'une application d'acide orthophosphorique à 35% (Ultra-Etch™ 35% Phosphoric Acid-Ultradent) pendant 30 secondes sur la base intermédiaire avant rinçage abondant puis séchage pendant 10 secondes.



Figure 21 : Photos du fraisage à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée puis application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe M + OA

- Groupe test 6 (FA) : L'application d'un acide fluorhydrique (Ultradent™ 9% Porcelain Etch-Ultradent) à 9% est réalisée à l'aide d'un embout applicateur et laissé en place pendant 2 minutes avant de le rincer abondamment et le sécher pendant 10 secondes.

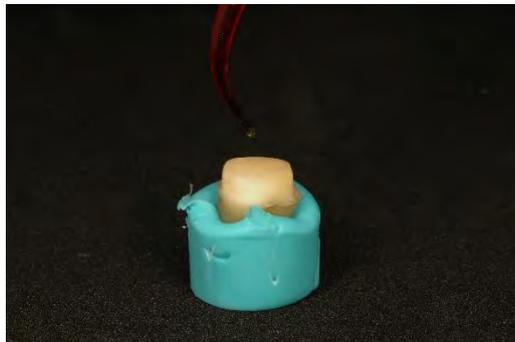


Figure 22 : Photo de l'application d'acide fluorhydrique sur les dents du groupe FA

F - Analyse en microscopie confocale à balayage laser

Après les différents traitements de surface, une dent de chaque groupe est analysée, à l'École nationale supérieure des mines d'Albi-Carmaux, au microscope confocal à balayage laser (3D LEXT™ OLS5100-Olympus) à magnification x500 afin d'observer l'altération de l'état de surface de la base intermédiaire ainsi que le calcul de l'aire développée par rapport à l'échantillon témoin à l'aide du logiciel Gwyddion.

Pour réaliser cela, chaque dent est d'abord parallélisée par rapport au plan d'acquisition à l'aide d'une presse de microscopie de marque Zeiss comme précédemment, puis placée dans le dispositif d'acquisition.



Figure 23 : Photos illustrant le dispositif de presse et d'acquisition permettant d'observer l'altération de l'état de surface causée par les différents traitements de surface.

G - Collage des pièces de céramique

Après traitement de surface, chaque échantillon est à nouveau recouvert d'une couche d'adhésif (Adhese® Universal Vivapen-Ivoclar Vivadent) de la même manière que précédemment et polymérisée (VALO™ Corded LED Curing Light-Ultradent) de la manière identique également.

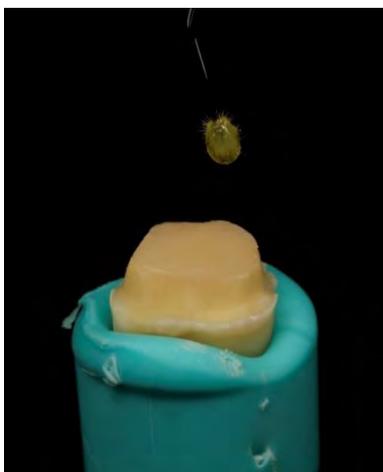


Figure 24 : Photo illustrant la phase de mise en place de l'adhésif avant collage des pièces en céramique.

Parallèlement aux différents traitements de surface, les pièces de céramique (IPS e.max Press HT A1-Ivoclar Vivadent) sous forme de lingots de dimensions standardisées sont sablées (Aquacare Twin-Velopex International with Aluminium oxyde powder 53 um-Velopex International) avec une pression d'1 bar à 3cm pendant 4 secondes puis mordancées à l'aide d'un acide fluorhydrique à 9% (Ultradent™ 9% Porcelain Etch-Ultradent) pendant 20 secondes, rincées abondamment puis séchées 10 secondes.

Elles sont ensuite enduites d'un gel d'acide orthophosphorique à 35% (Ultra-Etch™ 35% Phosphoric Acid-Ultradent) pendant 1min pour éliminer les plages de surmordantage.

Puis l'application d'un silane (Silane-Ultradent) est réalisée à l'aide d'un embout applicateur saturé et laissé en place pendant 1 minute avant de le sécher pendant 10 secondes.



Figure 25 : À gauche, photo illustrant un bloc de céramique avant et après sablage puis mordantage à l'acide fluorhydrique. On peut noter la texture de surface crayeuse obtenue. A droite, photo illustrant un bloc de céramique avant et après application du silane. On peut noter la texture de surface matte obtenue.

Un composite à prise duale (G-CEM LinkForce™ A1-GC) est appliqué en double enduction pour limiter au maximum la présence de bulle au sein du matériau d'assemblage puis la pièce est appliquée sur la dent surmontée d'une pression standardisée à l'aide d'un poids de 100 grammes (1 Newton).

Une photopolymérisation flash est effectuée au niveau du joint de colle pendant 1 seconde à 1000mW/cm².

Nous attendons 3 minutes la fin de l'auto-polymérisation avant de procéder à une photopolymérisation 40 secondes par face à 3500mW/cm² collé à la surface de la restauration/joint de collage.



Figure 26 : Photo illustrant la phase d'autopolymérisation du composite de collage à prise duale dans des conditions standardisées sous une pression de 100g (1 Newton). S'en suivra une photopolymérisation pendant 40 par face.

Après polymérisation, les excès de colle sont alors éliminés pour obtenir une interface de collage nette Dentine/Base intermédiaire/Composite de collage dual/Céramique silanisée.

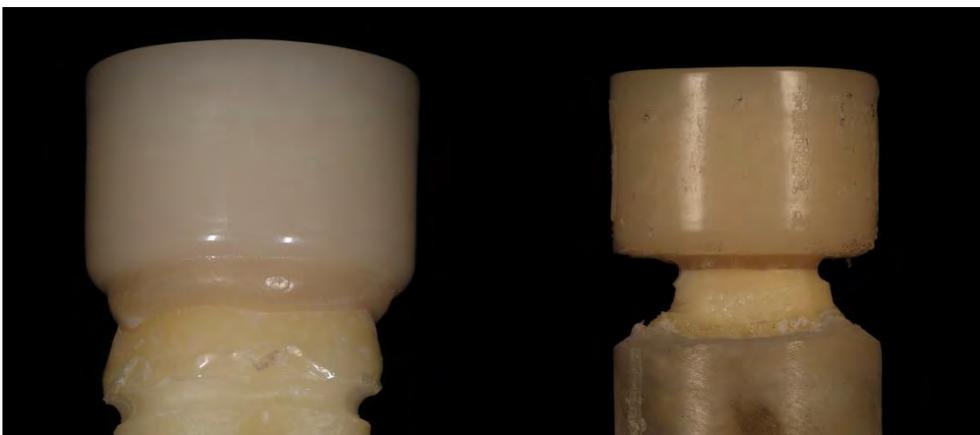


Figure 27 : Photos illustrant la réalisation de l'élimination des excès de résine de collage permettant une meilleure répartition des contraintes lors des tests de cisaillement.

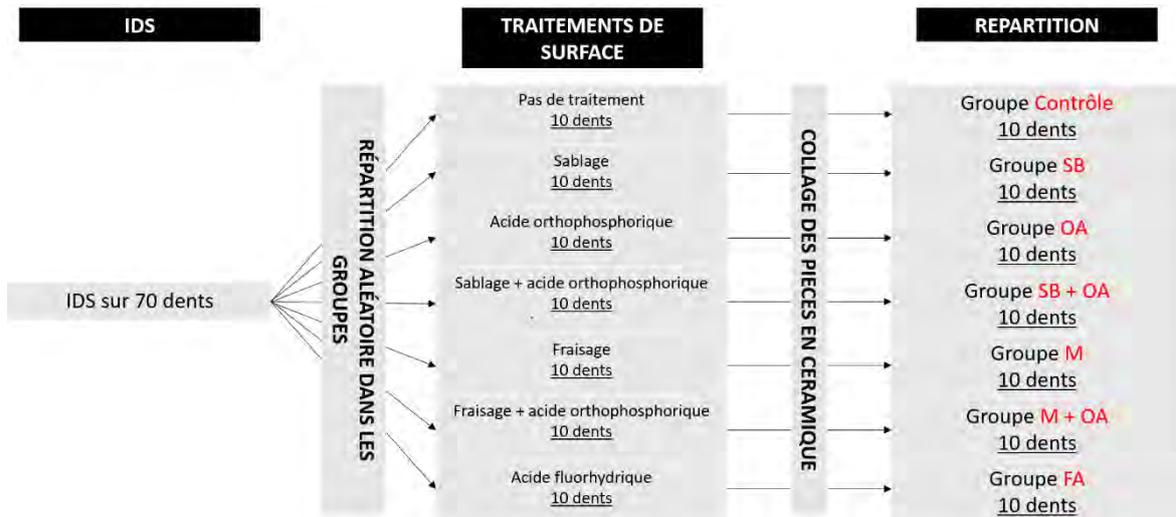


Figure 28 : Tableau résumant la répartition des dents dans les différents groupes en fonction du traitement de surface réalisé.

H - Stockage des dents

Une fois toutes les dents traitées puis assemblées au matériau de restauration, celles-ci sont conservées dans une solution de sérum physiologique dans un porte échantillon individuel jusqu'à réalisation des tests de cisaillement.

Ce porte échantillon servira par la suite à la coulée d'une résine epoxy autour de chaque racine permettant une identification de chacun des échantillons à l'aide d'un marqueur indélébile.



Figure 29 : Photos illustrant les spécimens collés puis stockés dans une solution de sérum physiologique.

I - Préparation des spécimens pour les tests de macro-cisaillement

Les étapes suivantes ont été réalisées à l'École nationale supérieure des mines d'Albi-Carmaux.

Chaque échantillon est inséré individuellement dans une pièce métallique usinée aux dimensions du bloc de céramique pour préparation des tests de macro-cisaillement, de manière à ce que la zone de collage soit parallèle au grand axe de la tige de cisaillement.

Adjoint à ce dispositif, un objectif apochromatique (Z16 APO A-Leica) est positionné face au joint de collage et permettant une acquisition d'images à une fréquence de 60 images/secondes.

Avant de procéder aux tests de macro-cisaillement, un mouchetis, c'est-à-dire un nuage de points obtenu par projection de peinture, est créé à la surface de chaque échantillon de sorte à effectuer une reconnaissance spatiale du motif projeté et permettant, à postériori, de visualiser la cinématique de rupture ainsi que d'identifier le point d'émergence des fissures dans la zone de collage.



Figure 30 : Photo illustrant la réalisation du mouchetis permettant une reconnaissance spatiale du motif projeté par l'objectif apochromatique afin de réaliser, à posteriori, une analyse de la propagation des fissures à l'aide d'une analyse par corrélation d'images.

Les tests sont ainsi effectués à une vitesse de 0.5mm/min dans une machine d'essais (Instron series 5800-Instron).

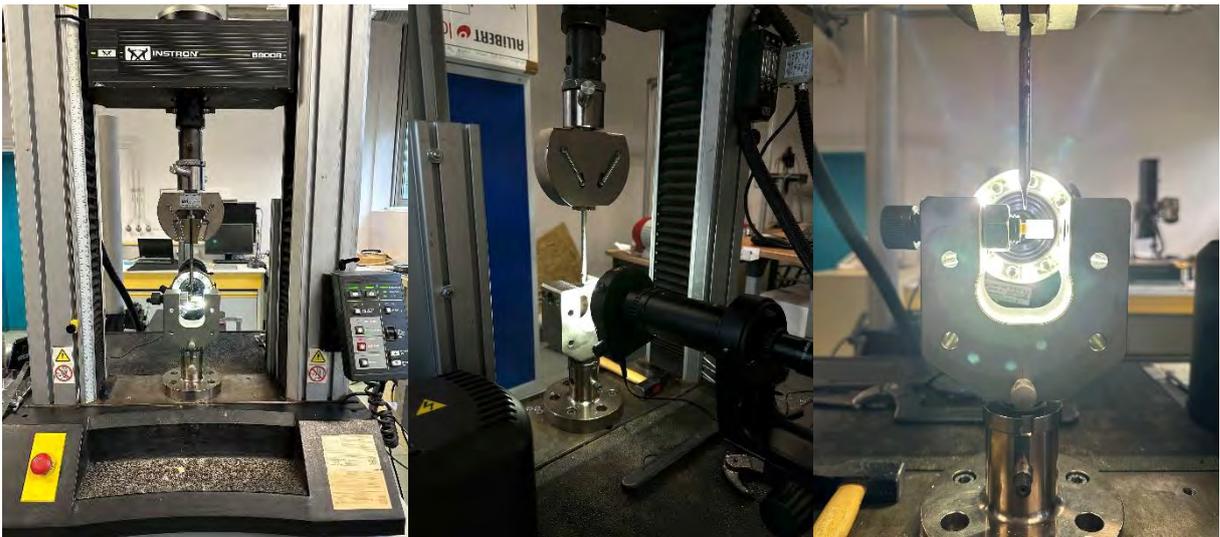


Figure 31 : Photos illustrant le dispositif de réalisation des tests de macro-cisaillement ainsi que de l'acquisition de clichés photographiques permettant une analyse par corrélation d'images afin de visualiser la cinématique de rupture.

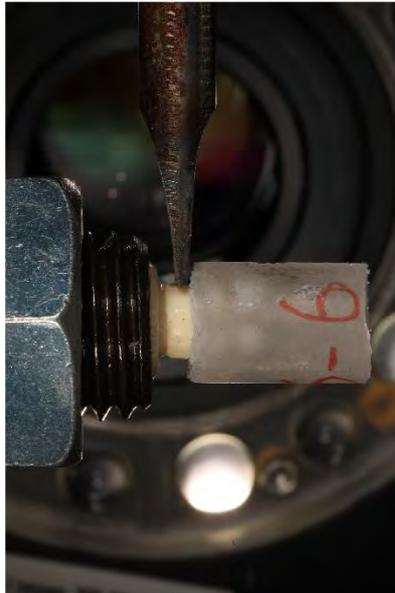


Figure 32 : Photos illustrant le positionnement de chaque échantillon au sein du dispositif de macro-cisaillement.

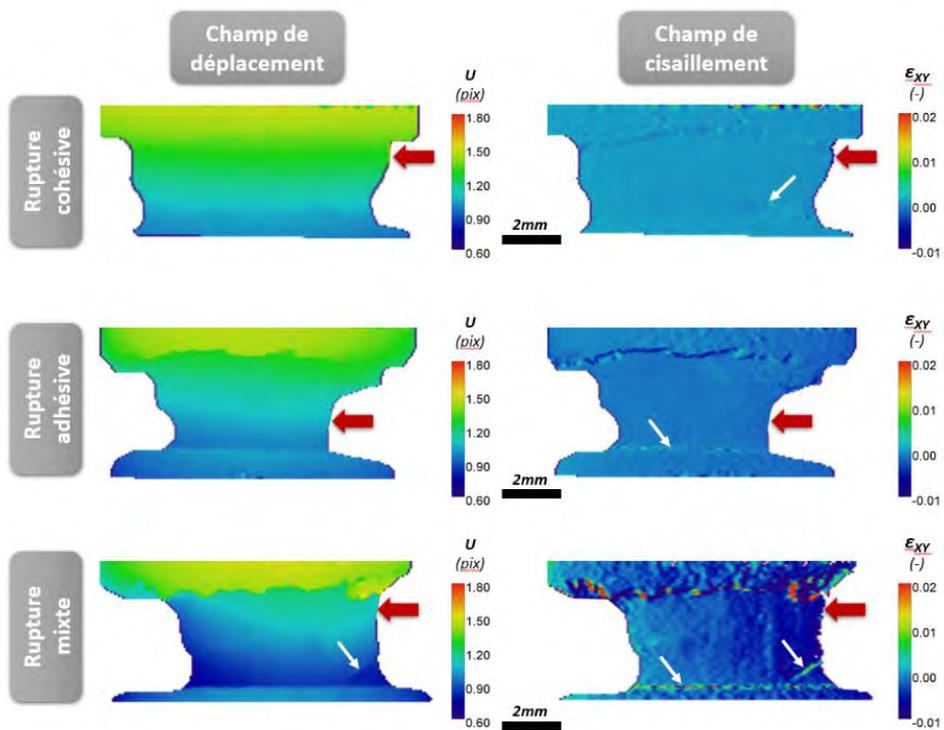


Figure 33 : Tableau illustrant la naissance des fissures (indiqué par les flèches blanches) au sein de la zone de collage en fonction des différents types de rupture.

Les résultats en newton sont alors rassemblés et corrélés à la surface de chaque échantillon pour former une valeur de résistance au cisaillement en MPa et obtenir une moyenne par groupe.

J - Analyse des faciès de rupture en microscopie confocal à balayage laser.

Une fois les tests de macro-cisaillement effectués, une observation en microscopie confocale à balayage laser (3D LEXT™ OLS5100-Olympus) est réalisée, à l'École nationale supérieure des mines d'Albi-Carmaux, à une magnification x20 pour évaluer le faciès de rupture et en permettre une modélisation 3D.

Les différents modes de rupture sont classés comme suit :

- Adhésive ou interfaciale lorsque la rupture survient dans l'interface de collage. Elle signe une fragilité du collage.
- Cohésive dans la dentine. Elle signe une grande force d'adhésion. Il est important de noter qu'une rupture cohésive ne peut jamais se produire au sein de la céramique.
- Mixte lorsqu'elle concerne à la fois l'interface de collage et la dentine. C'est le mode de rupture le plus fréquent étant donné la complexité des matériaux mis en jeu. Nous avons recueilli ce type de rupture avec un seuil défini à au moins 20% de la surface de collage afin d'écarter la notion de subjectivité.

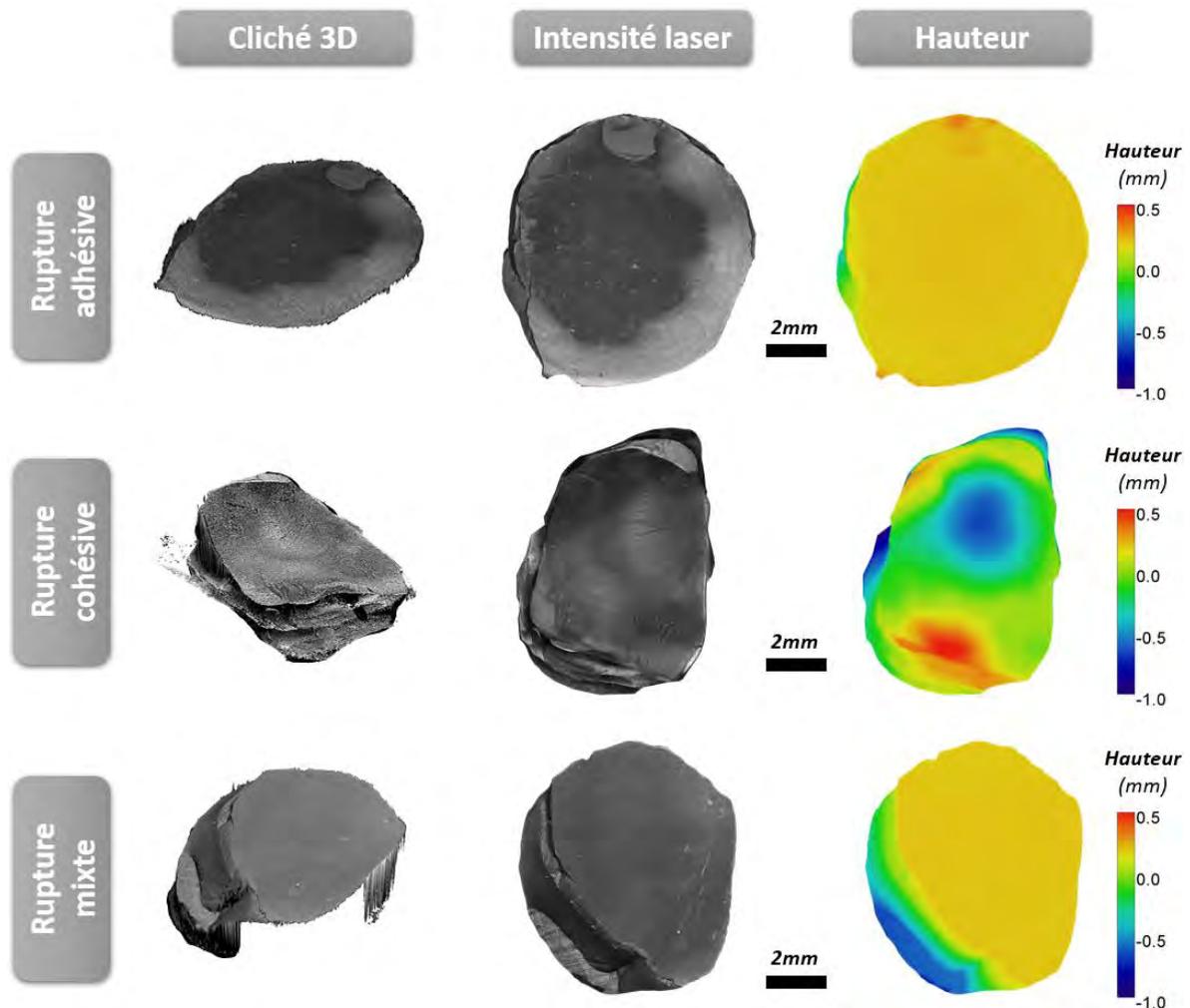


Figure 34 : Tableau illustrant les différentes topographies de surface en fonction du type de rupture en microscopie optique à balayage laser (magnification x20).

K - Analyses statistiques.

a) *Échantillonnage*

Le calcul du nombre de dents nécessaires se base sur la comparaison de moyennes observées, à partir d'estimations issues des données de la littérature, et en particulier de l'étude de Dillenburg 2009, qui fournit des valeurs d'adhésion selon une méthodologie expérimentale voisine de celle que nous utilisons dans notre propre démarche expérimentale.

La différence maximale mesurée entre les groupes de l'étude de Dillenburg se situe à environ 20 MPa, pour un écart-type commun oscillant autour de 5.

Considérant comme toujours cliniquement pertinent des différences valeurs de 15 Mpa entre les groupes (en dépit d'une augmentation théorique des effectifs), et autorisant un écart-type jusqu'à une valeur de 10 (en dépit également d'une augmentation théorique des effectifs), avec un risque alpha de 5% et une puissance 1-beta de 90%, en situation bilatérale, le calcul effectué via R (epiR package 0.0-96) donne la nécessité de constituer des groupes de 10.

Comme nous prévoyons de tester 7 groupes, un échantillonnage de $7 \times 10 = 70$ dents est nécessaire.

b) *Tests statistiques*

Tests de cisaillement (variable quantitative continue)

L'hypothèse nulle retenue est qu'il n'y a pas de différence de force d'adhésion en fonction des différents traitements de surface appliqués à la couche d'IDS renforcée par rapport au groupe témoin.

Les résultats des tests de cisaillement ont été soumis à une analyse statistique à l'aide de deux types de tests à l'aide du logiciel R :

- Premièrement, une analyse de la variance (ANOVA) est entreprise afin de déterminer si la différence entre les valeurs moyennes des 7 groupes analysés est statistiquement significative ($\alpha = 0.05$).
- Deuxièmement, les groupes ont été comparés, un à un, grâce à des test de Mann-Whitney afin de déterminer si deux groupes ont une distribution des valeurs équivalente ou non.

Pour ne pas augmenter inutilement le nombre de tests à réaliser (et risquer une inflation incontrôlée du risque alpha), le choix des couples de groupes à comparer est guidé par l'intérêt clinique des comparaisons.

Ainsi nous avons choisi de comparer :

- Chacun des groupes tests par rapport au groupe témoin afin de refléter s'il existe une augmentation des valeurs de collage statistiquement significative portée par chacun des différents traitements de surface (n=6 tests).
- Les groupes Sablage et Fraisage ont été, quant à eux, comparés respectivement à Sablage + Acide orthophosphorique et Fraisage + Acide orthophosphorique afin de révéler si l'utilisation d'acide orthophosphorique engage une réelle pertinence dans l'augmentation des forces de collage (n=2 tests).

La correction de Bonferroni a été utilisée pour contrer le problème des comparaisons multiples et ajuster le niveau de signification en conséquence (c'est-à-dire $\alpha = 0,05/8=0,00625$ pour les analyses comportant $6+2=8$ tests interdépendants).

Modes de rupture (variable qualitative)

Les résultats sont organisés dans un tableau exprimant, en pourcentage, les proportions des différents modes de rupture obtenus pour chaque groupe.

L'hypothèse nulle retenue est qu'il n'y a pas de différence de mode de rupture en fonction des différents traitements de surface appliqués à la couche d'IDS renforcée par rapport au groupe témoin.

Après enregistrement des données, les résultats ont été soumis à une analyse de statistique à l'aide de tests exacts de Fisher via le logiciel R.

Il a été choisi de comparer le taux de rupture adhésive à la somme des taux des ruptures mixtes et cohésives.

En effet, ces dernières signifiant une augmentation nette de la force de liaison par rapport à la rupture adhésive qui reflète le caractère peu efficace de l'adhésion.

Pour ne pas augmenter inutilement le nombre de tests à réaliser (et risquer une inflation incontrôlée du risque alpha), le choix des couples de groupes à comparer est guidé par l'intérêt clinique des comparaisons.

Ainsi nous avons choisi de comparer :

- Chacun des groupes tests par rapport au groupe témoin afin de refléter s'il existe une augmentation des ruptures mixtes et cohésives statistiquement significative portée par chacun des différents traitements de surface (n=6 tests).
- Les groupes Sablage et Fraisage ont été, quant à eux, comparés respectivement à Sablage + Acide orthophosphorique et Fraisage + Acide orthophosphorique afin de révéler si l'utilisation d'acide orthophosphorique engage une réelle pertinence dans l'augmentation des ruptures mixtes et cohésives (n=2 tests).

La correction de Bonferroni a été utilisée pour contrer le problème des comparaisons multiples et ajuster le niveau de signification en conséquence (c'est-à-dire $\alpha = 0,05/8=0,00625$ pour les analyses comportant $6+2=8$ tests interdépendants).

IV - Résultats

Les moyennes des aires de collage, les moyennes des résistances au cisaillement ainsi que les écart-types sont indiquées dans le tableau suivant.

Traitements de surface	Moy. Aires de collage (mm ²)	Moy. Contraintes de cisaillement (MPa)	Écart-type
Contrôle	37,98	8,53	2,90
Sablage (SB)	36,92	13,69	4,08
Acide orthophosphorique (OA)	44,92	8,81	3,97
Sablage + Acide orthophosphorique (SB + OA)	37,86	14,02	3,19
Fraisage (M)	36,52	10,24	2,68
Fraisage + Acide orthophosphorique (M + OA)	41,34	10,79	3,23
Acide fluorhydrique (FA)	33,34	9,68	2,79

Figure 35 : Tableau résumant les moyennes des aires de collage, les moyennes des résistances au cisaillement ainsi que les écart-types obtenus en fonction des différents traitements de surface appliqués à la base intermédiaire.

Lorsqu'on analyse les résultats à l'aide des tests de Mann-Whitney, on observe plusieurs choses :

- Premièrement, les traitements les plus efficaces ont été SB et SB + OA avec respectivement des valeurs moyennes de résistance au cisaillement de 13.69 et 14.02MPa.
Rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre ces deux groupes ($p > 0.00625$) ; cependant, les deux sont significativement supérieurs au groupe contrôle ($p < 0.00625$).
- Deuxièmement, concernant les groupes M et M + OA, il se dégage une tendance à l'augmentation des valeurs de résistance au cisaillement avec respectivement des valeurs moyennes de 10.24 et 10.79 MPa.
Cependant, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre ces groupes et le groupe contrôle ($p > 0.00625$).
Également, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre les groupes M et M + OA ($p > 0.00625$).

- L'utilisation d'acide orthophosphorique ne semble ainsi montrer aucun bénéfice sur les valeurs d'adhésion.
Cependant, nous pouvons objectiver, à l'aide de l'analyse en imagerie microscopie à balayage laser, un nettoyage plus important de la surface des échantillons après application d'acide orthophosphorique.
- Concernant l'utilisation d'acide fluorhydrique, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre le groupe FA et le groupe Contrôle ($p > 0.00625$).
- Il en est de même pour le groupe OA comparé au groupe Contrôle ($p > 0.00625$).
- Le test ANOVA révèle, quant à lui, qu'il existe une différence statistiquement significative entre les valeurs moyennes des 7 groupes analysés.

Dans le tableau suivant, sont exprimés, en pourcentage, les proportions des différents modes de rupture obtenus pour chaque groupe.

Concernant les profils de rupture, seuls les groupes SB, SB + OA et M + OA présentent des ruptures cohésives avec respectivement 20%, 30% et 10%. Nous pouvons ainsi observer une tendance à une adhésion plus forte au sein de ces groupes.

À l'inverse, les groupes contrôle, OA, M et FA présentent un taux élevé de ruptures adhésives avec respectivement 80%, 80%, 60% et 70%.

Lorsqu'on analyse les résultats à l'aide des tests de Fisher, on observe plusieurs choses :

- Premièrement, les traitements les plus efficaces ont été SB et SB + OA avec des sommes des proportions de ruptures mixtes et cohésives de 90%. Rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre ces deux groupes ($p > 0.00625$) ; cependant, les deux sont significativement supérieurs au groupe contrôle ($p < 0.00625$).
- L'utilisation d'acide orthophosphorique semble ne montrer aucun bénéfice la force de liaison. Cependant, nous pouvons objectiver, à l'aide des coupes en microscopie optique à balayage laser, un nettoyage plus important de la surface des échantillons après application d'acide orthophosphorique.
- Concernant l'utilisation des autres traitements de surface, rien ne permet d'affirmer qu'il existe une différence entre ces groupes et le groupe Contrôle ($p > 0.00625$).

TRAITEMENT DE SURFACE	RUPTURE COHESIVE (%)	RUPTURE MIXTE (%)	RUPTURE ADHESIVE (%)
Contrôle	0	20	80
Sablage	20	70	10
Acide orthophosphorique	0	20	80
Sablage + Acide orthophosphorique	30	60	10
Fraisage	0	40	60
Fraisage + Acide orthophosphorique	10	60	30
Acide fluorhydrique	0	30	70

Figure 36 : Tableau résumant les proportions (en %) des différents types de rupture obtenus en fonction des différents traitements de surface appliqués à la base intermédiaire.

Les tableaux suivants illustrent l'altération de l'état de surface de la base intermédiaire en fonction du type de traitement utilisé ainsi que l'augmentation de la surface développée qui en découle par rapport au groupe contrôle.

Ces clichés sont obtenus à l'aide d'un microscope optique à balayage laser à une magnification de 500x.

Lorsqu'on analyse les résultats on remarque que la surface développée est nettement augmentée dans les groupes Sablage, Sablage + Acide orthophosphorique, Fraisage et Fraisage + Acide orthophosphorique.

En effet, ces traitements montrent une augmentation de la surface développée d'environ 50% et donc une surface de collage accrue.

Cependant, il est important de noter que, si la surface développée est similaire dans les groupes précédemment cités, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'homogénéité du relief créé.

En effet, les hauteurs maximales des groupes Fraisage et Fraisage + Acide orthophosphorique sont nettement supérieures à celles des groupes Sablage et Sablage + Acide orthophosphorique.

Ceci indique, qu'à surface développée équivalente, le relief est nettement plus marqué dans les groupes faisant intervenir la technique de fraisage.

Une homogénéité plus grande est alors constatée dans les groupes ayant recours à une technique de sablage.

Enfin, nous constatons un nettoyage de la surface plus important dans les groupes faisant intervenir l'utilisation d'acide orthophosphorique ce qui suggère une utilité certaine de ce traitement en association aux traitements précédemment cités.

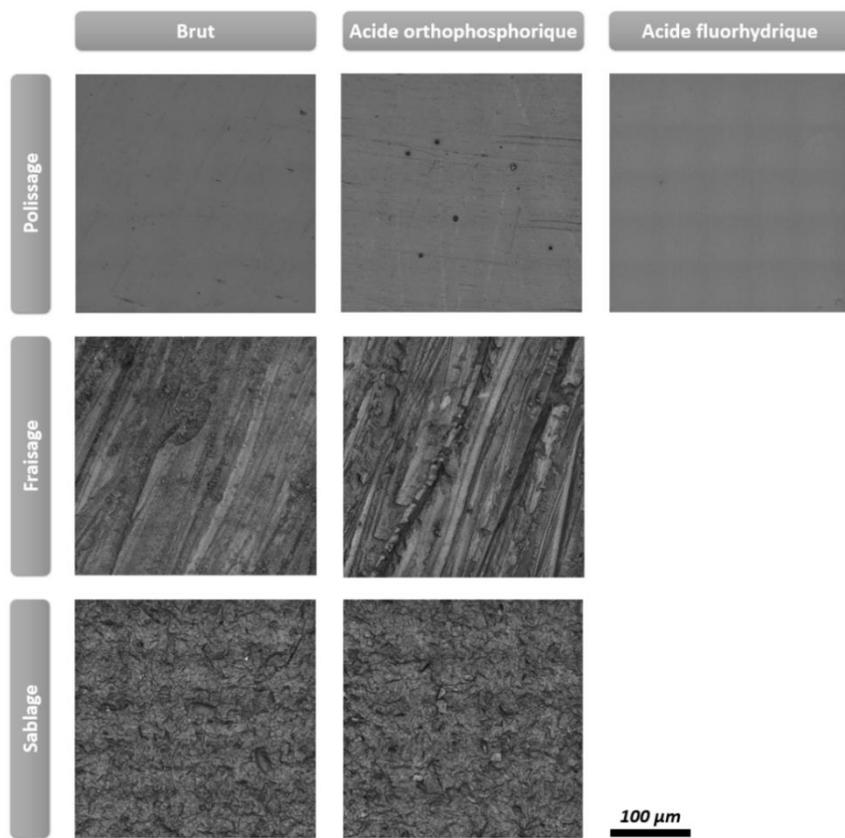


Figure 37 : Tableau illustrant les différentes acquisitions obtenues en microscopie confocale à balayage laser (magnification x500) et mettant en exergue l'altération de surface causée par les différents traitements de surface.

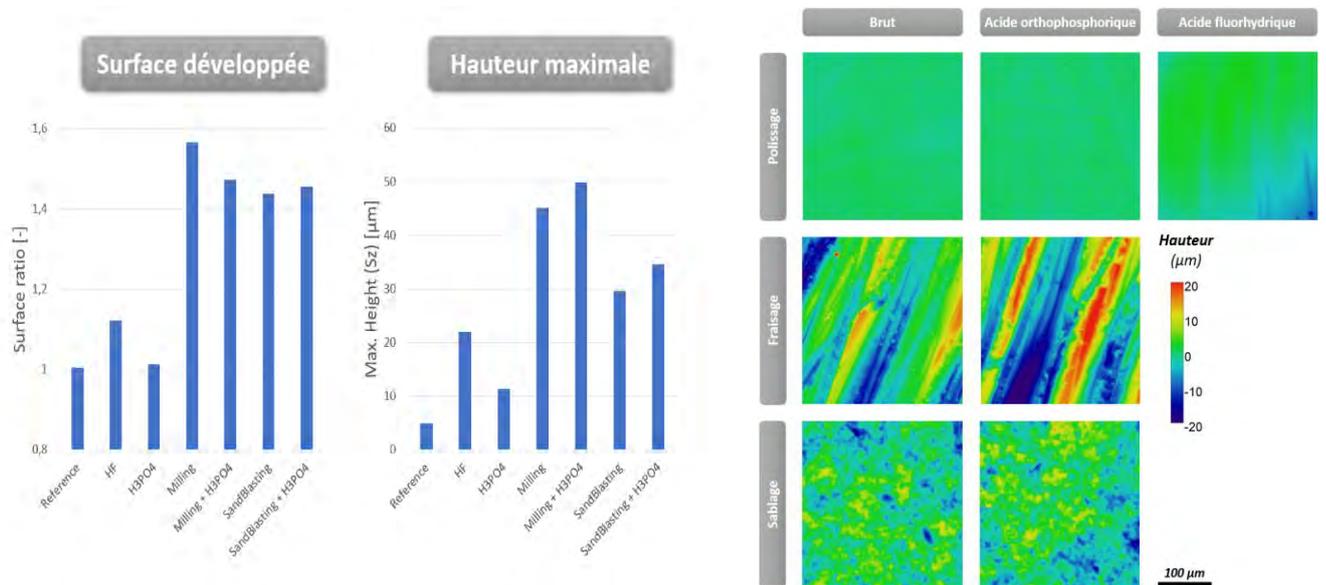


Figure 38 : Tableaux illustrant le calcul de la surface développée en fonction du traitement de surface ainsi que la mise en évidence des hauteurs maximales du relief obtenu.

V - Discussion

Les résultats de cette étude favorisent fortement l'utilisation du sablage à l'oxyde d'alumine associé ou non à l'utilisation d'acide orthophosphorique afin d'augmenter les valeurs d'adhésion à la base intermédiaire.

Plusieurs hypothèses permettraient d'expliquer ce phénomène :

- Premièrement, le taux de conversion du composite (qu'il soit fluide ou non) utilisé dans la réalisation de la base intermédiaire ne dépassant pas les 60%, une quantité non négligeable de monomères réactifs, non inclus dans une chaîne de polymère, est alors réexposée en surface sous l'effet du sablage, permettant une liaison chimique avec le composite de collage.
- Deuxièmement, l'altération de l'état de surface causée par le sablage, et entraînant la création de multiples micro-anfractuosités, explique, quant à elle, la composante physique du collage à la base intermédiaire.

Cependant, les groupes M et M + OA, bien que présentant une augmentation de la surface développée plus importante que celle des groupes SB et SB + OA, obtiennent des valeurs de résistance au cisaillement plus faibles.

Une explication possible de ces valeurs pourrait être la création d'un relief trop hétérogène avec des variations de hauteur trop importante entraînant un joint de colle épais, et une résistance au cisaillement moindre (38).

Les études à ce sujet démontrent que plus le joint de colle est important, moins la force de collage est grande, ceci s'expliquant par le fait que l'interface de collage représente une zone de moindre résistance (38).

L'aspect plus homogène du relief créé par le sablage entraînerait donc une meilleure répartition et finesse du joint de collage et une meilleure valeur d'adhésion, augmentant également une augmentation du taux de rupture cohésive (38).

Une étude de Mina Aker Sagen et Al.(38) évaluant la force de collage en fonction de l'épaisseur du joint de collage ainsi que les différents points précédemment cités permet de comprendre la supériorité des groupes SB et SB + OA par rapport à M et M + OA.

Les résultats semblent être en désaccord avec ceux de Dillenburg et al. concernant l'effet des traitements de surface de l'IDS sur les valeurs d'adhésion des restaurations (25).

À l'inverse, ceux-ci semblent en accord avec les travaux de Klosa et al. concernant le nettoyage et conditionnement du build-up contaminé avant collage d'une résine composite (39).

Discussion sur les limites de l'étude

Cette étude présente plusieurs limites :

- Premièrement, sur les choix des matériaux.

Tout d'abord, nous avons sélectionné un matériau de restauration indirecte. Notre choix s'est porté initialement sur la vitrocéramique enrichie au disilicate de lithium. Cependant, envisager des protocoles d'études expérimentales à l'aide de matériaux différents, comme par exemple des blocs de composite, est tout à fait pertinent également.

- Deuxièmement, sur les tests mécaniques.

Nous avons choisi les tests de cisaillement pour leur facilité de mise en œuvre à l'échelle macroscopique.

Nous nous étions initialement intéressés à des tests de traction macroscopiques.

Cependant, le manque de reproductibilité lors des dits tests nous a contraint à envisager les tests de cisaillement.

En effet, la forte hétérogénéité anatomique entre les différentes extrémités radiculaires de nos échantillons empêchait l'ancrage identique et reproductible d'une machine de traction.

Nous aurions pu envisager de standardiser ces extrémités radiculaires mais la probabilité de fragilisation des échantillons, notamment au niveau de l'interface de collage, était élevée.

Des tests de cisaillement macroscopiques ont ainsi été entrepris.

D'autre part, il est important de noter que les tests macroscopiques en traction, présentent une valeur de prédictibilité quant à la transposabilité clinique, plus faible comparativement à leurs homologues microscopiques (40).

Ceci s'explique par une plus large surface de collage et d'une distribution plus hétérogène des contraintes appliquées.

Cependant, il n'en est pas de même pour les tests de cisaillement.

En effet, les macro-SBS (tests de macro-cisaillement) semblent plus prédictifs aux micro-SBS (tests de micro-cisaillement) (41).

C'est pourquoi, après avoir analysé tous ces éléments, nous avons choisi ce type de test.

Également, la céramique ne permet pas l'entreprise de tests microscopiques (42).

- Troisièmement, la transposabilité de l'étude.

Notre étude *ex vivo* ne peut directement se généraliser pour formuler des recommandations cliniques définitives *in vivo*, et ce pour plusieurs raisons :

- Tout d'abord, un échantillon isolé ne se comporte mécaniquement pas de la même façon que s'il était intégré au sein du système complexe qu'est l'appareil manducateur.
- Deuxièmement, les forces appliquées sont ici standardisées à un cisaillement simple ; ce qui n'est pas le cas des contraintes que subissent l'organe dentaire qui sont la combinaison de flexion/cisaillement, compressions, tractions etc...
- Enfin, en dépit de notre précaution à effectuer, par exemple, des cycles pour mimer le vieillissement physiologique, le stockage en salive artificielle pour empêcher une déshydratation de l'organe dentaire etc... ; la composante artificielle du milieu utilisé par cette étude influence sans doute ses résultats.

Toutes ces limites, liées à la caractéristique ex-vivo de notre étude, réduisent quelque peu la validité externe de l'étude.

Cependant il reste tout de même que nos résultats sont parmi les premiers à décrire l'effet de différents traitements de surface sur l'IDS renforcée.

Enfin, les résultats obtenus lors des analyses statistiques ne permettent pas de mettre en évidence une différence significative entre les différents groupes exceptés les groupes SB et SB + OA par rapport au groupe contrôle.

Une explication à cela peut résider dans un nombre trop faible d'échantillons inclus dans l'étude.

Un nombre plus grand pourrait peut-être permettre de relever une différence entre les groupes restants et le groupe contrôle.

VI - Conclusion

Notre analyse de la littérature semble mettre en évidence une orientation des pratiques vers un protocole d'IDS renforcé par adjonction d'un liner de composite. C'est sur cette base empirique, fondée sur des arguments cliniques et tissulaires, que nous avons conçu notre étude expérimentale.

Malgré les limites de notre étude, nous pouvons conclure que le traitement de surface de la base intermédiaire le plus approprié à l'optimisation des valeurs d'adhésion des restaurations en céramique semble être le sablage à l'oxyde d'alumine, associé ou non à l'utilisation d'acide orthophosphorique.

Il convient néanmoins de garder à l'esprit que ce résultat est particulièrement exposé à la volatilité des connaissances, dans un domaine où le renouvellement des techniques et des biomatériaux est fréquent et constant.

Tout écart au protocole décrit dans notre expérimentation pourrait orienter les résultats différemment ; en d'autres termes, différents matériaux et différentes modalités d'application pourraient induire différents résultats.

Il est toutefois intéressant de souligner que notre résultat, produit d'une expérimentation rigoureuse, va dans le sens de la pratique empirique de nombreux dentistes, influencés par des leaders d'opinion en lien avec l'industrie et autant connaisseurs que producteurs des modalités précises d'utilisation des différentes procédures cliniques.

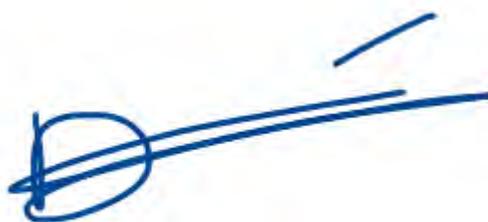
Ceci est peut-être à l'image de ce que pourrait être la recherche en biomatériaux dentaires dans le futur : davantage une hybridation entre recherche expérimentale et système de surveillance des pratiques, plutôt qu'un amoncellement d'essais cliniques randomisés, très vite rendus obsolètes par l'apparition de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques.

Vu, le directeur de thèse et président du jury

Vu, le co-directeur de thèse



Jean-Noël Vergnes



Romain Ducassé

VII – Index des figures

Figure 1 : Photos cliniques montrant l'importance de la réalisation d'une base intermédiaire dans la répartition des contraintes au sein du matériau céramique. Ces contraintes sont ainsi mieux réparties par l'homogénéisation des épaisseurs du matériau de restauration en céramique.	17
Figure 2 : Photo clinique du Dr Louis Maffi Berthier mettant en évidence l'importance de l'élimination des conglomerats résineux après la procédure d'IDS afin d'assurer une hybridation uniquement dentinaire. Ici, une fraise à grains extra-fins (bague jaune) est utilisée.	19
Figure 3 : Clichés montrant l'interférence existant entre les matériaux à empreinte élastomériques et la couche d'inhibition à l'oxygène. Source : (28).....	20
Figure 4 : Tableau montrant les résultats obtenus en interrogeant la base de données Pubmed sur le sujet des traitements de surface de l'IDS. Un très faible nombre d'études existe sur ce sujet.....	24
Figure 5 : Étude montrant l'intérêt des traitements de surface sur la force d'adhésion à la dentine pré-hybridée.	24
Figure 6 : Tableau montrant les résultats de la résistance à la microtraction et de l'épaisseur de la couche d'adhésif en fonction des différents traitements de surface. Légende : SB et PB sont les deux types d'adhésif utilisés ; AO = Sablage à l'oxyde d'alumine ; PA = Acide orthophosphorique.	25
Figure 7 : Photos d'un échantillon placé sur un cube de silicone et illustrant la section transversale effectuée parallèlement à la table occlusale. Une attention particulière est apportée à l'élimination d'émail pouvant persister au fond des sillons.	27
Figure 8 : Photos illustrant l'élimination complète de l'émail périphérique.	27
Figure 9 : Photos illustrant la phase de mordantage dentinaire suivie du rinçage abondant ainsi que du coffrage à l'aide d'une matrice en caoutchouc ménageant 1mm de hauteur pour la résine d'IDS.	28
Figure 10 : Photos illustrant la phase de réhydratation dentinaire suivie de la mise en place de l'adhésif, puis d'un composite fluide.	29
Figure 11 : Photos illustrant la phase de photopolymérisation primaire puis avec induction d'un gel de glycérine du composite fluide.	29
Figure 12 : Photos illustrant le dispositif de presse permettant un parfait parallélisme par rapport au plan d'acquisition de l'aire de collage.....	30
Figure 13 : Photos illustrant le dispositif de presse et d'acquisition permettant le calcul de l'aire de collage.	30
Figure 14 : Photo illustrant la mise en place d'une restauration provisoire.	31
Figure 15 : Photo illustrant le dispositif de thermocyclage.	31
Figure 16 : Photo de la décontamination à l'aide d'un coton imbibé d'alcool pour les dents du groupe Contrôle.....	32
Figure 17 : Photo du sablage à l'oxyde d'alumine des dents du groupe SB.....	32
Figure 18 : Photo de l'application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe OA	33
Figure 19 : Photos du sablage à l'oxyde d'alumine puis application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe SB + OA	33
Figure 20 : Photo du fraisage à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée sur les dents du groupe M	33
Figure 21 : Photos du fraisage à l'aide d'un papier de verre de granulométrie élevée puis application d'acide orthophosphorique sur les dents du groupe M + OA	34
Figure 22 : Photo de l'application d'acide fluorhydrique sur les dents du groupe FA	34
Figure 23 : Photos illustrant le dispositif de presse et d'acquisition permettant d'observer l'altération de l'état de surface causée par les différents traitements de surface.	35
Figure 24 : Photo illustrant la phase de mise en place de l'adhésif avant collage des pièces en céramique.	36

<i>Figure 25 : À gauche, photo illustrant un bloc de céramique avant et après sablage puis mordantage à l'acide fluorhydrique. On peut noter la texture de surface crayeuse obtenue. A droite, photo illustrant un bloc de céramique avant et après application du silane. On peut noter la texture de surface matte obtenue.</i>	<i>36</i>
<i>Figure 26 : Photo illustrant la phase d'autopolymérisation du composite de collage à prise duale dans des conditions standardisées sous une pression de 100g (1 Newton). S'en suivra une photopolymérisation pendant 40 par face.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 27 : Photos illustrant la réalisation de l'élimination des excès de résine de collage permettant une meilleure répartition des contraintes lors des tests de cisaillement.</i>	<i>37</i>
<i>Figure 28 : Tableau résumant la répartition des dents dans les différents groupes en fonction du traitement de surface réalisé.</i>	<i>38</i>
<i>Figure 29 : Photos illustrant les spécimens collés puis stockés dans une solution de sérum physiologique. .</i>	<i>39</i>
<i>Figure 30 : Photo illustrant la réalisation du mouchetis permettant une reconnaissance spatiale du motif projeté par l'objectif apochromatique afin de réaliser, à posteriori, une analyse de la propagation des fissures à l'aide d'une analyse par corrélation d'images.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 31 : Photos illustrant le dispositif de réalisation des tests de macro-cisaillement ainsi que de l'acquisition de clichés photographiques permettant une analyse par corrélation d'images afin de visualiser la cinématique de rupture.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 32 : Photos illustrant le positionnement de chaque échantillon au sein du dispositif de macro-cisaillement.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 33 : Tableau illustrant la naissance des fissures (indiqué par les flèches blanches) au sein de la zone de collage en fonction des différents types de rupture.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 34 : Tableau illustrant les différentes topographies de surface en fonction du type de rupture en microscopie optique à balayage laser (magnification x20).....</i>	<i>42</i>
<i>Figure 35 : Tableau résumant les moyennes des aires de collage, les moyennes des résistances au cisaillement ainsi que les écart-types obtenus en fonction des différents traitements de surface appliqués à la base intermédiaire.</i>	<i>45</i>
<i>Figure 36 : Tableau résumant les proportions (en %) des différents types de rupture obtenus en fonction des différents traitements de surface appliqués à la base intermédiaire.</i>	<i>47</i>
<i>Figure 37 : Tableau illustrant les différentes acquisitions obtenues en microscopie confocale à balayage laser (magnification x500) et mettant en exergue l'altération de surface causée par les différents traitements de surface.</i>	<i>49</i>
<i>Figure 38 : Tableaux illustrant le calcul de la surface développée en fonction du traitement de surface ainsi que la mise en évidence des hauteurs maximales du relief obtenu.....</i>	<i>49</i>

VIII - Bibliographie

1. David Gerdolle, Stéphane Browet, Marco Gresnigt. The perenity of the indirect bonded restorations : the «no-finishing concept». *Swiss Dental Journal*. 2022;
2. Federico Ferraris. Posterior indirect adhesive restorations (PIAR): preparation designs and adhesthetics clinical protocol. *The International Journal of Esthetic Dentistry*. 2017;
3. Pascal Magne. IDS: Immediate Dentin Sealing (IDS) for tooth preparations. *The journal of adhesive dentistry*. 2014;
4. Magne P. Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *Journal of esthetic and restorative dentistry*. 2005;
5. Marco Aurélio de Carvalho, Priscilla Cardoso Lazari-Carvalho, Isabella Fonseca Polonial, João Batista de Souza, Pascal Magne. Significance of immediate dentin sealing and flowable resin coating reinforcement for unfilled/lightly filled adhesive systems. *The journal of esthetic and restorative dentistry*. 2021;
6. Theodora-Kalliopi Samartzi, Dimokritos Papalexopoulos, Aspasia Sarafianou, Stefanos Kourtis. Immediate Dentin Sealing: A Literature Review. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*. 2021;
7. Pascal Magne, Tae Hyung Kim, Domenico Cascione, Terence E Donovan. Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *The journal of prosthetic dentistry*. 2005;
8. Olivier Etienne, Laure Anckenmann. *Restaurations esthétiques en céramique collée*. (CDP EDITIONS) (French Edition); 2017. (JPIO).
9. Pascal Magne, Woong-Seup So, Domenico Cascione. Immediate dentin sealing supports delayed restoration placement. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007;
10. Austin McMurphy, Xiaoming Xu, Suzanne Fournier, Zafer C Cehreli, Kramer Sherman, Courtney Tremmel, Qingzhao Yu, Janice Townsend. Effect of Cured Versus Uncured Adhesive Inclusion on the Microtensile Bond Strength of Sealants. *Journal of Dentistry for Children*. 2017;
11. D Dietschi, P Magne, J Holz. Bonded to tooth ceramic restorations: in vitro evaluation of the efficiency and failure mode of two modern adhesives. 1995;
12. F R Tay, A J Gwinnett, K M Pang, S H Wei. Variability in microleakage observed in a total-etch wet-bonding technique under different handling conditions. *Journal of Dental Research*. 1995;
13. Milena Cadenaro, Tatjana Maravic, Allegra Comba, Annalisa Mazzoni, Lidia Fanfoni, Tom Hilton, Jack Ferracane, Lorenzo Breschi. The role of polymerization in adhesive dentistry. *Dental Materials*. 2019;
14. Jingyu Ding, Yifu Jin, Shanshan Feng, Huan Chen, Yanyan Hou, Song Zhu. Effect of temporary cements and their removal methods on the bond strength of indirect restoration: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigation*. 2023;
15. S J Paul, P Schärer. The dual bonding technique: a modified method to improve adhesive luting procedures. *The International Journal of periodontics and restorative dentistry*. 1997;
16. R Karcher, W Ketterl, W Geurtsen. Migration of teeth with temporary fillings after inlay preparation. *Zeitschrift für Stomatologie*. 1986;

17. G Dietz. Mesiodistal tooth movement of the lateral teeth during the inlay therapy of proximal lesions. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 1981;
18. Patricia A Walters. Dentinal hypersensitivity: a review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2005;
19. P L Jacobsen, G Bruce. Clinical dentin hypersensitivity: understanding the causes and prescribing a treatment. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2001;
20. N X West, A Lussi, J Seong, E Hellwig. Dentin hypersensitivity: pain mechanisms and aetiology of exposed cervical dentin. *Clinical Oral Investigation*. 2013;
21. Ana Luíza Serralha de Velloso Vianna, Célio Jesus do Prado, Aline Aredes Bicalho, Renata Afonso da Silva Pereira, Flávio Domingues das Neves, Carlos José Soares. Effect of cavity preparation design and ceramic type on the stress distribution, strain and fracture resistance of CAD/CAM onlays in molars. *Journal of Applied Oral Sciences*. 2018;
22. Jaafar Abduo, Raelene Jo Sambrook. Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *Journal of esthetic and restorative dentistry*. 2018;
23. Aarti C Panchal, Geeta Asthana. Oxygen inhibition layer: A dilemma to be solved. *Journal of conservative dentistry*. 2020;
24. Minos M Stavridakis, Ivo Krejci, Pascal Magne. Immediate dentin sealing of onlay preparations: thickness of pre-cured Dentin Bonding Agent and effect of surface cleaning. *Operative Dentistry*. 2005;
25. Alvaro L K Dillenburg, Clarissa G Soares, Maria Paula G Paranhos, Ana Maria Spohr, Alessandro D Loguercio, Luis Henrique Burnett Jr. Microtensile Bond Strength of Prehybridized Dentin: Storage Time and Surface Treatment Effects. *The journal of adhesive dentistry*. 2009;
26. P Bergmann, M J Noack, J F Roulet. Marginal adaptation with glass-ceramic inlays adhesively luted with glycerine gel. *Quintessence International*. 1991;
27. Pascal Magne, Brik Nielsen. Interactions between impression materials and immediate dentin sealing. *The journal of prosthetic dentistry*. 2009;
28. Moez I Khakiani, Vaibhav Kumar, Hemal V Pandya, Tousif I Nathani, Priya Verma, Nikhil V Bhanushali. Effect of Immediate Dentin Sealing on Polymerization of Elastomeric Materials: An Ex Vivo Randomized Controlled Trial. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2019;
29. Cheng Miao, Xiaoyu Yang, May Cm Wong, Jing Zou, Xuedong Zhou, Chunjie Li, Yan Wang. Rubber dam isolation for restorative treatment in dental patients. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2021;
30. T Pioch, H J Staehle, H Duschner, F García-Godoy. Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. *American Journal of Dentistry*. 2001;
31. Muhammet Kerim Ayar. A review of ethanol wet-bonding: Principles and techniques. *European Journal of Dentistry*. 2016;
32. O Kiuru, J Sinervo, H Vähänikkilä, V Anttonen, L Tjäderhane. MMP Inhibitors and Dentin Bonding: Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Dentistry*. 2021;

33. Manikandan Ekambaram, Cynthia Kar Yung Yiu, Jukka Pekka Matinlinna, Jeffrey Wen Wei Chang, Franklin Russell Tay, Nigel Martyn King. Effect of chlorhexidine and ethanol-wet bonding with a hydrophobic adhesive to intraradicular dentine. *Journal of Dentistry*. 2014;
34. David Starr Alleman, DDS; Davey Scott Alleman, DMD; Simone Deliperi, DDS; Jorge Aravena Diaz, DDS; Leandro Martins, DDS, MS, PhD; and Filip Keulemans, DDS, PhD. *Decoupling With Time*. 2021;
35. F A Rueggeberg, M Dlugokinski, J W Ertle. Minimizing patients' exposure to uncured components in a dental sealant. *Journal of the American Dental Association*. 1999;
36. Sarah L Rolland, Thomas E Carrick, Angus W Walls, John F McCabe. Dentin decontamination using chloramine T prior to experiments involving bacteria. *Dental Materials*. 2007;
37. Marie Rashidi, Simin Berangi, Nasim Chiniforush, Elham Ahmadi, Ladan Ranjbar Omrani. Microtensile Repair Bond Strength of a Composite After Accelerated Artificial Aging: Effect of the Air Abrasion, Bur, Er:YAG Laser, Two-Step Self-etch Bonding, and Universal Bonding Repair System. *Journal of lasers in medical sciences*. 2022;
38. Mina Aker Sagen, Jon Einar Dahl, Jukka Pekka Matinlinna, John E Tibballs, Hans Jacob Rønold. The influence of the resin-based cement layer on ceramic-dentin bond strength. *European Journal of Oral Sciences*. 2021;
39. Karsten Klosa, Walid Shahid, Milda Aleknytytė-Resch, Matthias Kern. Cleaning and Conditioning of Contaminated Core Build-Up Material before Adhesive Bonding. *Materials*.
40. Siegward D Heintze, Valentin Rousson, Eduardo Mahn. Bond strength tests of dental adhesive systems and their correlation with clinical results - A meta-analysis. *Dental Materials*. 2015;
41. Eliane Placido, Josete B C Meira, Raul González Lima, Antonio Muench, Roberto Martins de Souza, Rafael Yagüe Ballester. Shear versus micro-shear bond strength test: a finite element stress analysis. *Dental Materials*. 2007;
42. Kantheti Sirisha, Tankonda Rambabu, Yalavarthi Ravi Shankar, Pabbati Ravikumar. Validity of bond strength tests: A critical review: Part I. *Journal of conservative dentistry*. 2014;

INTÉRÊT DES TRAITEMENTS DE SURFACE DE LA DENTINE PRÉ-HYBRIDÉE DANS L'OPTIMISATION DES VALEURS D'ADHÉSION DES RESTAURATIONS ESTHÉTIQUES EN CÉRAMIQUE COLLÉE : ETUDE EX VIVO.

RÉSUMÉ :

Les préparations cavitaires pour restaurations partielles collées exposent, le plus souvent, une quantité importante de tissus dentinaire. Afin de solutionner ce problème, pouvant engendrer des sensibilités, des contaminations intratubulaires, ainsi qu'une dégradation des fibres collagéniques ; P. Magne propose en 2005 une procédure d'hybridation dentinaire immédiate afin de préserver et protéger le tissu dentinaire lors de l'inter-séance. Il proposera, plus tard, une version modifiée de son protocole, en renforçant la couche d'IDS par l'ajout d'un fin liner de composite. L'objectif de ce travail est double : Tout d'abord, réaliser une analyse de la littérature afin de tenter de déterminer les différents aspects de l'hybridation dentinaire immédiate. Enfin, déterminer, au moyen une étude expérimentale, l'effet de différents traitements de surface de cette base intermédiaire sur la force d'adhésion d'une restauration en vitrocéramique enrichie au di-silicate de lithium.

TITRE EN ANGLAIS :

INTEREST OF SURFACE TREATMENTS ON PREHYBRIDIZED DENTIN IN BOND STRENGTH OPTIMIZATION OF AESTHETIC BONDED CERAMIC RESTORATIONS: EX VIVO STUDY.

SUMMARY:

Cavity preparations for partial bonded restorations most often expose a large amount of dentin. In order to solve this problem, which can cause sensitivities, intratubular contamination, as well as a degradation of collagen fibers ; P. Magne proposed in 2005 an immediate dentin sealing procedure in order to preserve and protect the dentin during the provisional phase. He will later propose a modified version of his IDS protocol by adding a resin coating procedure. The objective of this work is dual : First, analyze the literature in order to determine the different aspects of immediate dentin sealing. Finally, to determine, by means of an experimental study, the effect of different surface treatments of this reinforced IDS on the adhesion strength of a lithium disilicate glass-ceramic restoration.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLES : IDS ; build-up ; inlay ; onlay ; overlay ; restauration partielle collée ; restauration adhésive en céramique ; préparation dentaire ; collage ; vitrocéramique ; restauration esthétique en céramique collée

INTITULÉ 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 : Pr Jean-Noël VERGNES et Dr Romain Ducassé