

THÈSE

**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par

Paul BLUM

Le 13 décembre 2022

**PROPOSITION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL
POUR DEUX MATERIAUX D'ASSEMBLAGE : RELYX
UNIVERSAL ET G-CEM ONE**

Directeur de thèse : Dr Nicolas ALAUX

JURY

Président :	Pr Franck DIEMER
1 ^{er} Assesseur :	Dr Karim NASR
2 ^{ème} Assesseur :	Dr Thibault CANCEILL
3 ^{ème} Assesseur :	Dr Nicolas ALAUX

**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 Adjoins

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 NOIRRI-ESCLASSAN, Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY
Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH
Adjoins d'Enseignement : M. Sébastien DOMINE, M. Mathieu TESTE, M. Daniel BANDON

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

Maîtres de Conférences : M. Pascal BARON, Mme Christiane LODTER, M. Maxime ROTENBERG
Assistants : M. Vincent VIDAL-ROSSET, Mme Carole VARGAS
Adjoins 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
Assistants : Mme Géromine FOURNIER
Adjoins d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL
Mme Carole KANJ, Mme Myliène 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
Adjoins d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Mathieu 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

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. Maron SAUCOURT, M. Ludovic PELLETIER
M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Loris BOVIN
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,
M. Rémi ESCLASSAN, M. Antoine GALIBOURG,
Maîtres de Conférences : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUNY
Assistants : 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. Alexandre HEGO DEVEZA, 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, Mme. Julie FRANKEL
Adjoints d'Enseignement : Mme Sylvie MAGNE, M. Thierry VERGÉ, M. Damien OSTROWSKI

Mise à jour pour le 04 novembre 2022

Remerciements

À mes parents, vous qui m'avez toujours soutenu. Vous nous avez apporté à Léa et moi tout ce dont nous avons besoin et bien plus encore. Vous êtes les parents que n'importe quel enfant rêverai d'avoir. Je ne serai pas celui que je suis sans vous. Je vous aime d'un amour inconditionnel.

À Léa, le jumeau le plus réussi des deux, tu es quelqu'un de fort et déterminé, bien plus que je ne peux l'être. Je suis fier de la personne que tu es devenue. Depuis le commencement et jusqu'à la fin, tu pourras toujours compter sur moi. Malgré le manque de mots, nous savons tous deux les sentiments qui nous lie pour toujours.

À Jack, toi qui as su m'apporter la curiosité des sciences et du monde qui nous entoure, j'espère aujourd'hui te rendre fier. Merci pour tout ce que tu as fait pour moi, je ne t'oublierai jamais, nous nous retrouverons un jour. Tu me manques terriblement.

À Kitty, la grand-mère la plus aimante qui puisse être, merci d'avoir pris aussi soin de nous depuis le début. Cette réussite est aussi la tienne, je te dois énormément. Je serais toujours à tes côtés.

À mes grands-parents Malène et Papito, vous qui m'avez fait découvrir le monde durant toutes ces années, malgré la distance, vous avez su être présents à chaque moment. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait. J'espère vous voir vite.

À ma famille de Tahiti/Bordeaux, mes oncles, tantes, cousines, merci d'avoir été présents depuis 26 ans, cette réussite est vôtre. Je vous dois beaucoup.

À Jade, toi qui m'as fait grandir depuis 6ans, je n'en serais pas là sans toi. Tu es une personne merveilleuse, j'espère poursuivre le chemin à tes côtés le plus longtemps possible. Mon cœur t'appartient.

À ma belle-famille, pour leur bienveillance et leur gentillesse.

À mes frères des billes, pour cette amitié indéfectible depuis toutes ces années, toutes ces aventures vécues et celles qui restent à vivre. Je vous aime.

À mes acolytes de dentisterie, merci pour ces 6 années inoubliables, ces souvenirs gravés, j'espère en écrire bien d'autres encore dans les années à venir.

À Vincent, qui m'a permis d'apprendre auprès des meilleurs, je te dois beaucoup. Tu as su me faire grandir durant ces années. Je sais que tu auras une vie pleine mais je te souhaite quand même le meilleur mon frère.

À Mathieu et Jean, merci pour ces 3 années à la coloc de la Concorde, c'était que du plaisir. À toutes les soirées film, gastronomie et spiritueux passés avec vous. Cela restera gravé dans ma mémoire.

À Simon, David et Clément, mes binômes de PACES, merci pour ces deux années de rigolade malgré la montagne de travail que nous avons, à bientôt mes amis.

À mes amis de promo, 13 organisé, Ohana, merci pour tous ces souvenirs, ces vacances de folies et toutes ces aventures passées avec vous. Les plus folles restent à vivre.

À Nico, mon grand frère de la fac, merci d'avoir su m'aiguiller durant ces années et jusqu'à cette thèse, qui est notre réussite. Je te considère comme un véritable ami.

Au Docteur Bonnafous, merci pour tout ce que vous m'avez enseigné, vous l'avez fait avec bienveillance et passion. Je vous remercie pour tout ce que vous avez fait, je vous dois énormément.

A notre président du jury de thèse,

A Monsieur le Professeur DIEMER Franck

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- D.E.A. de Pédagogie (Éducation, Formation et Insertion) Toulouse Le Mirail,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Responsable du comité scientifique de la Société française d'Endodontie
- Responsable du Diplôme Inter Universitaire d'Endodontie à Toulouse,
- Responsable du Diplôme universitaire d'hypnose
- Co-responsable du diplôme Inter-Universitaire d'odontologie du Sport
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier

Nous vous remercions d'avoir accepté de présider notre jury, c'est un honneur pour nous. Nous vous remercions également pour la qualité de votre enseignement, pour votre disponibilité, vos connaissances théoriques et cliniques, vos conseils avisés et prodigués avec bienveillance tout au long de notre scolarité.

Veillez trouver ici le témoignage de nos remerciements les plus distingués, et de notre plus grand respect.

A notre jury de thèse,

A Monsieur le Docteur NASR Karim

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.
- Master1 mention Biotechnologie-Biostatistiques
- Master 2 Recherche en Science des Matériaux
- certificat d'Études Supérieures de technologie des matériaux employés en Art Dentaire
- Certificat d'Études Supérieures de prothèse Dentaire (Option prothèse Scellée)
- Responsable du domaine d'enseignement Imagerie et Numérique
- Responsable de l'Attestation d'Études Universitaires d'Imagerie Maxillo-Faciale (CBCT).
- Responsable du Diplôme Universitaire de CFAO en Odontologie
- Chargé de mission à la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse

Nous sommes très honorés de votre présence à notre jury de thèse. Nous vous remercions pour l'aide que vous m'avez apportée dans la réalisation de ce travail. Nous vous remercions également pour votre investissement dans notre cursus universitaire durant toutes nos études et plus particulièrement dans le domaine l'odontologie restauratrice, ainsi que pour la qualité de votre enseignement.

Veillez trouver ici l'expression de mes sincères remerciements et de mon plus grand respect.

A notre jury de thèse,

A Monsieur le Docteur CANCEILL Thibault

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

Nous vous remercions d'avoir accepté notre invitation dans ce jury de thèse. C'est un honneur de pouvoir vous compter parmi nous aujourd'hui. Nous vous sommes très reconnaissants votre implication sans faille dans l'enseignement ainsi que dans le développement de la faculté. Nous vous remercions également pour votre présence et votre passion au bord des terrains de football de la faculté, ces souvenirs resteront gravés.

Veuillez trouver ici le témoignage de mes sincères remerciements et de mon plus grand respect.

A notre directeur de thèse,

A Monsieur le Docteur ALAUX Nicolas

- Assistant Hospitalo-Universitaire en dentisterie restauratrice à l'Université de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire, diplômé de la Faculté d'odontologie de Toulouse
- Diplôme Universitaire de Conception et fabrication assistées par ordinateur de la Faculté
D'Odontologie de Toulouse
- Certificat d'Étude Supérieure en dentisterie endodontique et restauratrice de la Faculté
D'odontologie de Toulouse,
- Attestation d'Étude Supérieure médico-chirurgical de la Faculté de Toulouse.

Nous vous remercions d'avoir accepté de diriger cette thèse. Nous tenions à vous remercier pour la confiance que vous avez placée en moi pour la réalisation de ce travail de thèse. Nous tenions à vous remercier également pour tous vos précieux conseils partagés afin d'améliorer ma pratique quotidienne.

Nous vous remercions également pour tous les moments passés et partagés ensemble au bord et sur les terrains de rugby universitaires. Nous espérons que nos passions communes nous réuniront de nouveau.

Veillez trouver ici le témoignage de notre sincère amitié, et de notre plus grand respect.

INTRODUCTION	13
1 HISTORIQUE	15
1.1 LES GRANDES GENERATIONS DE SYSTEMES ADHESIFS.....	15
1.2 VERS UNE DENTISTERIE PLUS CONSERVATRICE	18
2 RAPPELS ANATOMIQUES.....	22
2.1 GENERALITES.....	22
2.1.1 Le milieu buccal.....	22
2.1.2 L'organe dentaire, une machine complexe	24
2.2 L'EMAIL.....	26
2.2.1 Généralités	26
2.2.2 Un support de collage idéal	29
2.3 LA DENTINE	31
2.3.1 Structure et composition.....	31
2.3.2 Un défi de collage quotidien	33
3 LES MATERIAUX D'ASSEMBLAGE.....	35
3.1 GENERALITES.....	35
3.1.1 Définition d'un matériau d'assemblage.....	35
3.1.2 Différents types de polymérisation	36
3.1.3 Différentes propriétés	38
3.1.4 Choix du matériau d'assemblage	42

4	PROPOSITION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL : COMMENT OBJECTIVER LES VALEURS D'ADHESION DE NOUVEAUX MATERIAUX D'ASSEMBLAGES ?	43
4.1	OBJECTIFS	43
4.1.1	Objectif principal de l'étude	43
4.1.2	Objectifs secondaires de l'étude	44
4.2	MATERIELS ET METHODES	44
4.2.1	Présentation de l'étude	44
4.2.2	Présentation des produits	45
4.2.2.1	G-Cem One	45
4.2.2.2	Relyx Universal	47
4.2.2.3	G-Cem LinkForce	48
4.2.2.4	Relyx Unicem 2	49
4.2.2.5	CeraSmart 270	50
4.2.3	Critères d'inclusion des dents	52
4.2.3.1	Types de dents	52
4.2.3.2	État des dents	52
4.2.3.3	Conservation des dents	53
4.2.4	Recueil des données	54
4.3	PROTOCOLE EXPERIMENTAL	54
4.3.1	Etapes du protocole	54
4.3.1.1	Préparation des dents	55
4.3.1.2	Préparation des blocs Cerasmart 270	56
4.3.1.3	Traitement de surface	56
4.3.1.4	Le collage des disques Cerasmart 270	59
4.3.1.5	Stockage des dents avant tests	60
4.3.1.6	Séparation des échantillons	60
4.3.2	Tests réalisés	61
	CONCLUSION	64
	BIBLIOGRAPHIE	65
	TABLEAU DES ILLUSTRATIONS	72

Introduction

Sceller ou coller ? Quel produit utiliser ? Selon quel protocole ? Dans quelles conditions ?

Autant de questions que se pose chaque praticien au moment de l'assemblage, qu'il s'agisse de pièces prothétiques, de fragments tissulaires ou bien même d'éléments orthodontiques.

Depuis maintenant quelques dizaines d'années, le collage occupe une place prépondérante dans la dentisterie contemporaine, basée sur le respect biologique et tissulaire de la dent.

En effet, la dentisterie actuelle fait de la préservation tissulaire, l'une de ses principales problématiques. Le collage est un des outils actuels majeurs qui permet d'y répondre. (TIRLET, ATTAL 2009, 1)

Durant cette période d'émergence de la dentisterie adhésive, industriels, scientifiques et chercheurs n'ont eu de cesse que de développer toujours plus de produits différents. L'objectif principal étant de réussir à faire un matériau d'assemblage le plus facilement utilisable pour l'opérateur, tout en ayant les valeurs d'adhésion les plus élevées possibles. (WEISSER, FELIX 2015, 2)

De ce fait, les systèmes d'assemblage à plusieurs étapes, souvent chronophages et très opérateurs dépendants ont vu arriver des systèmes plus simples, avec moins d'étapes, permettant l'accès à cette dentisterie adhésive au plus grand nombre. (CEBOLD, BOSSO ANDRE 2020, 3)

Cette grande diversité de systèmes amène cependant une réflexion lors du choix de matériau pour nos cas cliniques. En effet, pour une même situation clinique, plusieurs matériaux d'assemblage peuvent être utilisés.

Ce marché en pleine croissance depuis quelques années amène donc naturellement les entreprises et développeurs à proposer sans cesse des nouveautés sur le marché des matériaux d'assemblages.

Cette volonté de progrès entraîne un « pool » de matériau disponible très large, rendant le choix du praticien encore plus difficile face à ses situations cliniques.

Plusieurs questions surviennent donc naturellement pour l'opérateur : Quel matériau puis-je utiliser ? Ce matériau sera-t-il aussi efficace qu'un autre ? Quelles conditions pour l'utiliser de manière optimale ?

Un matériau d'assemblage ne comportant qu'une seule étape peut-il obtenir des valeurs d'adhésion semblables voir supérieures à celles de matériaux comprenant plusieurs étapes ?

Nous tenterons de répondre à ces questions pour deux matériaux d'assemblages récemment introduits sur le marché :

- G-Cem-One (GC)

- Relyx Universal (3M ESPE)

Au travers de cette thèse, nous verrons l'évolution de la place du collage dans notre profession, nous présenterons les différents types de colles disponibles actuellement sur le marché ainsi que leur fonctionnement, pour finir par la présentation d'un protocole qui aura pour but de tester au mieux leur efficacité.

1 Historique

1.1 Les grandes générations de systèmes adhésifs

Pour comprendre ce qu'est le collage et le chemin qu'il a emprunté pour être ce qu'il est aujourd'hui, c'est-à-dire un des acteurs principaux de notre profession, il faut s'intéresser à l'historique des systèmes adhésifs depuis leur commencement :

La quête d'adhésion aux tissus dentaires débute au milieu du XX^{ème} siècle, vers les années 1940.

Un chimiste suisse du nom de Oskar Hagger développa pour l'entreprise De Trey/Amalgamated Dental Company le premier produit adhésif dentaire, appelé Sevitron Cavity Seal (SÖDERHOLM 2007, 4)

Le Sevitron Cavity Seal, contenant du diméthacrylate d'acide glycérolphosphorique, fut révolutionnaire pour son approche chimique de l'adhésion aux surfaces dentaires (GERMAN, PALMER, 5)

Kramer & Mac Lean mentionneront pour la première fois « la couche hybride » lors de l'observation de l'interface dentine/Sevitron des travaux de Hagger.

En 1955, Buonocore propose un protocole de mordantage de l'émail qui est encore utilisé aujourd'hui et teste des monomères réactifs afin d'augmenter ses valeurs d'adhésions, sans grands succès. Il en est de même pour des chercheurs tels que Masuhara et Bowen en 1965.

Beaucoup de chercheurs testèrent de nouveaux monomères tels que me 4META, bis GMA mais les valeurs d'adhésion aux surfaces dentaires restent très faibles. (NAKABAYASHI, KOJIMA, MASUHARA 1982, 6)

Il faudra attendre les années 1980 et l'introduction des « systèmes adhésifs » comme le Tenure (Dent Mat), Gluma Bond (Bayer) ou encore le Scotchbond 2 (3M) pour obtenir des valeurs d'adhésions plus élevées (entre 8 et 12 MPa).

Ce n'est qu'à partir des années 1990 que de vrais systèmes adhésifs ont permis d'avoir un collage plus fiable avec de bonnes valeurs d'adhésions.

Parmi ces systèmes on peut nommer le All Bond (B Suh) qui est le premier de cette génération à avoir été commercialisé.

D'autres systèmes encore actuellement sur le marché ont suivi comme l'OptiBond FL (Kerr) ou encore le ClearFil (Kuraray).

Des systèmes adhésifs plus simples seront par la suite développés mais la plupart des systèmes adhésifs utilisés actuellement proviennent des avancées faites dans les années 1990.

Dans les années 1995, deux concepts adhésifs se développent simultanément.

Le premier concerne les systèmes qui regroupe le primaire et la résine adhésive dans le même flacon.

Ces systèmes permettent une manipulation plus simple/rapide que les précédents. Cependant un mordantage à l'acide ortho-phosphorique reste nécessaire. Ces systèmes sont appelés systèmes mordantage-rinçage (MR).

Parallèlement au développement des MR2, des systèmes auto-mordant (SAM) sont créés, principalement par l'industrie japonaise.

Ces systèmes regroupent dans le même flacon l'agent de mordantage et le primaire. La résine adhésive est appliquée à la suite. Le premier de cette génération est le Clearfile Liner Bond 2 de Kuraray.

Il faut attendre le début des années 2000 pour voir les premiers systèmes où tous les agents de l'adhésion sont réunis dans le même flacon. Ils permettent de faire en une étape, ce que d'autres font en 3 étapes. (CEBOLD, BOSSO ANDRE, 3)

Cependant, toutes ces différentes générations ne prennent pas en compte la performance d'adhésion, et aucune preuve n'a été fournie quant à l'apport thérapeutique d'une génération par rapport à une autre qui la précède. C'est ce qui peut expliquer la multitude de systèmes issus de différentes générations présents sur le marché aujourd'hui.

1.2 Vers une dentisterie plus conservatrice

C'est durant le XX^{ème} et surtout le XXI^{ème} siècle que la dentisterie devient une science plus conservatrice, avec le développement et la découverte de produits permettant de conserver plutôt que d'extraire les dents, comme c'était jusqu'à présent le cas.

Table 2 Stages of development and application of acrylate-based resins for general use between 1843 and 1933

Year	Process	Name and source
1843	Discovery of acrylic acid	Josef Redtenbacher, chemist ⁵⁵
1865	Discovery of methacrylic acid	Edward Frankland und Baldwin Francis Duppa, chemists ²²
1877	Discovery of conversion of liquid methacrylic acid to a hard resinous substance	Rudolf Fittig und Ludwig Paul, chemists ²¹
1880	Studies on the solidification of acrylic acid methyl ester and discovery of light polymerization	Wilhelm August Kahlbaum, chemist ^{4,31,75}
1901	Studies on the solidification of acrylic acid methyl and acrylic acid ethyl esters	Otto Röhm, chemist ⁵⁹
1920	Foundation of polymer chemistry	Hermann Staudinger, chemist ⁷¹
1928	Synthesis of polymethylmethacrylate (PMMA) from methyl methacrylate (MMA)	Walter Bauer, chemist ²
1933	Production of PMMA disks	Otto Röhm, chemist ⁵⁸

(Figure 1 : Développement et utilisation des résine acrylate entre 1843 et 1933)

Nous pouvons constater que la découverte de la polymérisation des résines ne se fait que tard dans le 19^{ème} siècle (1880) ainsi que la production de PMMA (1933) qui est de plus en plus utilisée de nos jours. (JÖRG STAEHLE, SEKUNDO 2021, 7)

Depuis la découverte de l'acide acrylique par Redtenbacher en 1843, il faudra un long moment avant de voir la production des premiers matériaux de restaurations pour la cavité buccale.

Table 3 Stages of development and application of adhesively anchored acrylate-based resins for dental use between 1930 and 1955

Year	Process	Name and source
1930	First patent for use of polymethylmethacrylate (PMMA) in dentistry as a thermally adaptable molding for making dental prostheses, marketed by Röhm & Haas and other companies. Second patent in 1935.	Walter Bauer, chemist ^{3,57}
1936	Combination of PMMA powder with MMA liquid into a malleable compound that can be hardened by pressure and heat (also for various prosthetics), marketed by Kulzer under the names Paladon und Palapont; internationally produced and distributed as Vernonite (Vernon-Benshoff Co).	Gottfried Roth, dental technician ⁴⁸
1939	Experiments with direct, slow-hardening dental fillings (with acrylic-based dental resins).	Fred A. Slack, dentist ⁶⁷
1940	Patent for intraoral polymerization of acrylate-based dental resins at oral cavity temperature using UV light, chemical catalysts (eg, tertiary amines), or a combination of both (dual curing). Improvement of material properties by addition of mineral substances (precursors of "composites"), influence on the oxygen inhibition layer, and chemical combination of different dental resins (for cementations, repairs).	Ernst Schnebel, dentist ⁵³ see also ^{29,72}
1942	First description of an acrylate-based "sealing" and first description of acrylic fillings hardened directly in the mouth using rapidly polymerizing test products produced by Kulzer (this was before the market launch of corresponding preparations, which did not take place until after the Second World War in the late 1940s).	Alfred Deppe, dentist ¹⁹
1949	Development of a resin sealer based on glycerophosphoric acid to create a bond between acrylic-based resins and dentin by primarily chemical means (marketed by Amalgamated Dental Company/De Trey under the name Sevriton Cavity Seal; patented 1951).	Oskar Hagger, chemist ^{40,69}
1949	Discovery and description of the physical adhesion of thin acrylic plastic films to enamel after etching with nitric acid.	Günter Staehle, dentist ⁷⁰
1955	Examination of physical adhesion of thicker acrylic resin samples to enamel after etching with phosphoric acid.	Michael G. Buonocore, chemist/dentist ¹²
Mid-1950s	Further development of dental resins for subsequent production of composites.	Rafael L. Bowen, dentist ^{9,10}

(Figure 2 : Développement et utilisation des résine acrylate entre 1930 et 1955)

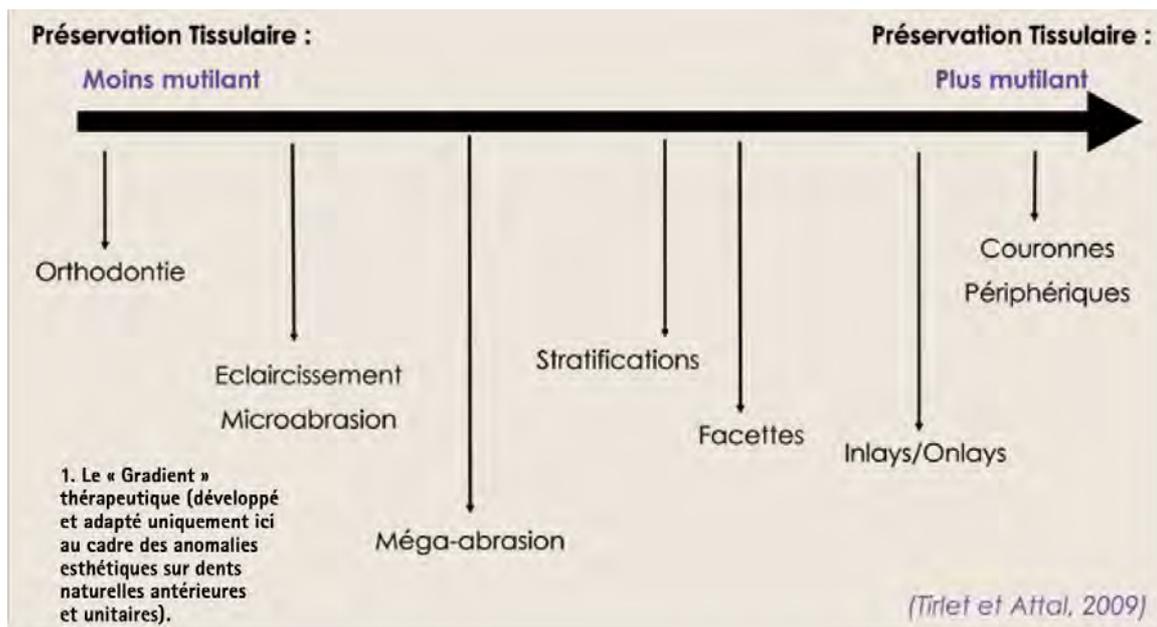
Le tableau en Figure 2 nous montre que la découverte et le développement des matériaux de restaurations, ainsi que leur utilisation clinique ne s'est faite que pas à pas au cours de ces deux siècles.

Le développement de nouvelles techniques de restaurations ainsi que de matériaux nous ont amené aujourd'hui à une notion de « gradient thérapeutique ». Présenté ici pour les cas de restauration esthétique, il doit en réalité s'appliquer et être le fil conducteur de tous nos traitements.

Développé et publié au début des années 2000 par deux pionniers de la dentisterie adhésive et esthétique, Gil Tirlet et Jean-Pierre Attal, ce gradient thérapeutique permet de guider les dentistes dans leur démarche thérapeutique, afin d'être le plus conservateur possible. (TIRLET, ATTAL 2009, 1)

Suivre ce fil conducteur permet aux praticiens de commencer leurs traitements par les solutions les moins mutilantes possibles avant de, si nécessaire, basculer sur des solutions thérapeutiques plus mutilantes.

« La dentisterie actuelle vise à être la moins invasive possible. Ainsi, le gradient thérapeutique doit guider le praticien devant une demande esthétique » (TIRLET, ATTAL 2009, 1).



(Figure 3 : Concept du gradient thérapeutique de Tirlet et Attal 2009)

La dentisterie répond de plus en plus aux demandes des patients, qu'elles soient esthétiques ou fonctionnelles, et ne cesse de progresser encore aujourd'hui avec l'arrivée de l'ère numérique.

Le collage quant à lui est un domaine très récent lorsque l'on se reporte à l'échelle de l'histoire de la dentisterie depuis son commencement.

Développé réellement, seulement depuis le milieu des années 1950, le collage reste une part complexe de notre pratique. Notamment à cause de l'humidité omniprésente dans la cavité buccale, rendant le collage possible seulement dans certaines conditions.

Nous verrons que la cavité buccale est un milieu hostile pour tous ces matériaux d'assemblage qui sont eux, hydrophobes.

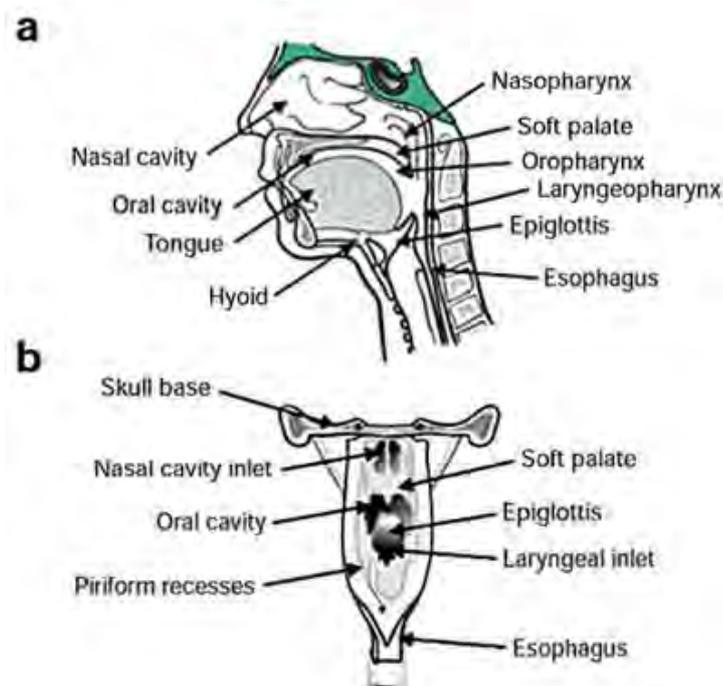
2 Rappels anatomiques

2.1 Généralités

2.1.1 Le milieu buccal

La cavité buccale est le point d'entrée du système digestif, c'est un espace anatomique défini par des tissus durs (organe dentaire, os principalement) et des tissus mous (gencives, joues, lèvres...). Elle est en continuité avec la cavité pharyngée (GERMAN, PALMER 2006, 8)

Elle est délimitée antérieurement par les lèvres, latéralement par la face interne des joues. Sa limite supérieure est le palais dur et sa limite inférieure est constituée par la muqueuse recouvrant la face dorsale de la langue et les muscles du plancher buccal (DOUGLAS 2001, 9)



(Figure 4 : Schéma de l'anatomie de l'oropharynx)

En plus du rôle qu'elle joue dans le système respiratoire et digestif, la cavité buccale abrite des structures notables telles que la langue, le palais dur et mou, les amygdales et évidemment, les dents.

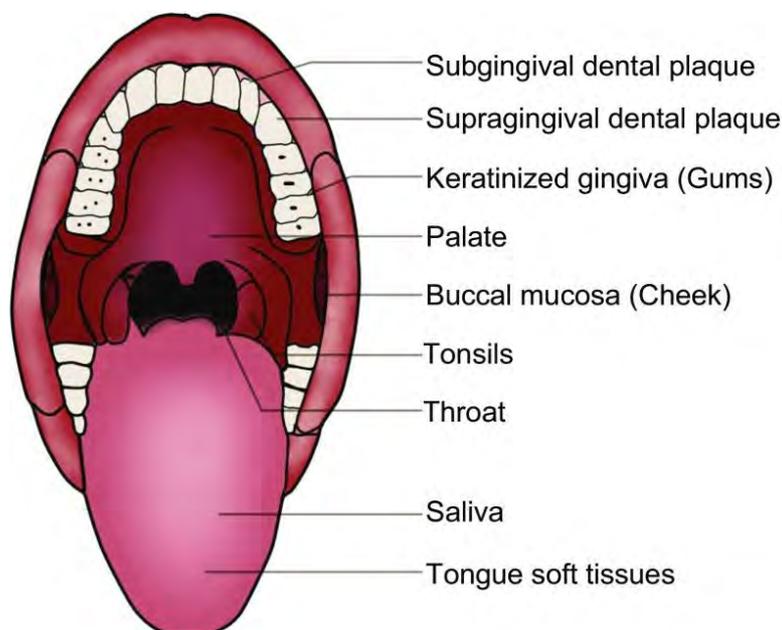
C'est un milieu humide de nature à cause des flux salivaires présents en tous points. Cette humidité rend difficile l'exercice de la restauration adhésive qui par définition, nécessite un milieu sec.

Il existe également des organismes beaucoup plus petits mais tout aussi important dans l'équilibre de ce milieu buccal appelés micro-organisme ou encore microbiote buccal, découvert dans les années 1970 par Antonie van Leeuwenhoek.

Ce microbiote est disséminé partout dans la cavité buccale.

Que ce soit au niveau de la plaque dentaire supra et infra gingivale, des amygdales, de la langue, dans la salive, ces micro-organismes sont présents.

Ils sont de compositions différentes suivant leur localisation dans la cavité buccale.



(Figure 5 : Le microbiome oral de la cavité orale chez l'homme)

Un déséquilibre de ce microbiote pouvant être causé par une multitude de causes (âge, sexe, temps, alimentation, environnement, maladies systémiques...), peut conduire à des maladies de la cavité buccale comme des caries, maladies parodontales, maladies des muqueuses, cancers oraux... (GAO, LU 2018, 10)

On parle de milieu buccal car c'est une zone complexe avec de nombreux organismes et structures, un équilibre fragile et en perpétuel remaniement.

Les dents étant en contact continu avec ce milieu, sont-elles aussi soumises à ces variations. Notre rôle en tant que chirurgien-dentiste est de prévenir les conséquences de ces variations et de réaliser des restaurations les plus résistantes possible à ces changements parfois pathologiques.

2.1.2 L'organe dentaire, une machine complexe

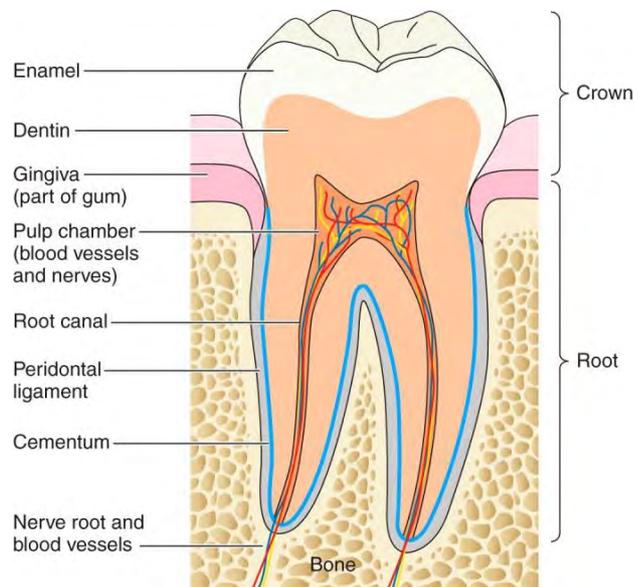
Les dents sont considérées comme des véritables organes dentaires car ce sont des structures complexes, avec des nombreux composants, qui produisent des cellules.

Ce sont des structures innervées et vascularisées.

Situées au cœur de la cavité buccale, les dents jouent un rôle essentiel dans l'alimentation de l'être humain ainsi que dans la phonation.

Son action sur le bol alimentaire (cisaillement, écrasement), permet à l'homme d'assimiler les nutriments essentiels à son bon fonctionnement. (LACRUZ, RODRIGO 2017, 11)

Nous allons décrire de façon assez générale les différentes structures de l'organe dentaire :



(Figure 6 : L'anatomie d'une molaire mandibulaire humaine)

- L'émail : C'est la partie supérieure de la couronne dentaire, structure très minéralisée, il joue un rôle de protection pour les structures sous-jacentes vis-à-vis des agressions extérieures (flux acides, sucres...). Il est formé par les cellules épithéliales. (LIGNON, GUILHEM 2015, 12)
- La Dentine : Située sous l'émail, elle est présente au niveau de la partie coronaire de la dent ainsi que sur sa partie radiculaire. Formée de cellules mésenchymateuses (odontoblastes), elle possède aussi une importante partie collagénique contrairement à l'émail qui en est dépourvu. Elle joue un rôle de protection vis-à-vis de la prochaine structure, le complexe pulpaire. (BONNAURE 2018,13)

- La pulpe : Constituée de nerfs et de tissus de vascularisation, c'est elle qui permet la vitalité de la dent. La pulpe permet la formation de cellules formant la dentine, les odontoblastes.
De plus, les cellules souches de la pulpe permettent une régénération du complexe dentino-pulpaire. (Lors d'une atteinte par une carie par exemple). C'est donc une structure essentielle au bon fonctionnement de l'organe dentaire. (RENARD, LOPEZ-CAZAUX 2007, 14)
- Le ligament parodontal : Ce tissu conjonctif relie les dents aux os maxillaire et mandibulaire par des fibres insérées dans le ciment (le ciment étant le tissu qui recouvre la racine de la dent).
Le ligament parodontal ou desmodonte joue le rôle « d'articulation » de la dent, sans lui la dent est dite « ankylosée » (SFPIO, 15).

Toutes les structures décrites précédemment sont indissociables les unes des autres. La dent ne peut rester vivante et physiologique que si tous ses composants le sont aussi.

Chaque déséquilibre d'un composant a un impact sur l'organe dentaire global (pulpite, desmodontite, MIH...)

Nous décrivons dans la partie suivante, plus en détail, les structures les plus importantes lorsque le praticien veut réaliser une restauration collée, puisqu'elles en seront le support, à savoir l'émail et la dentine.

2.2 L'émail

2.2.1 Généralités

L'émail est le tissu le plus minéralisé du corps, il est composé à 96% de matière inorganique, plus précisément de cristaux d'apatites.

Ces cristaux d'apatites sont eux-mêmes formés de petites unités appelées cristaux d'hydroxyapatite, de formule $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$.

L'émail comprend également une phase aqueuse intra prismatique (3,6%) et une phase organique minimale (0,4%).

Il est formé par des cellules épithéliales appelés améloblastes. Ces améloblastes forment un front de minéralisation lors de la formation de l'émail.

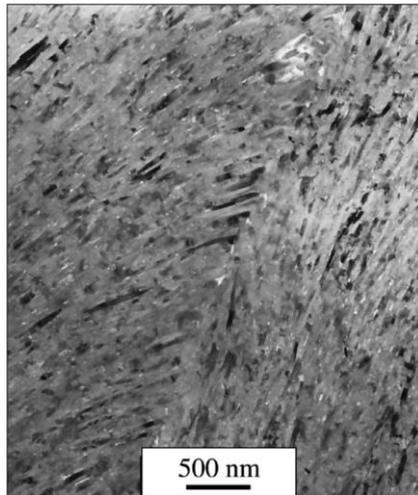
Cependant, lorsque la dent fait éruption dans la cavité buccale, ces cellules sont détruites (par fusion avec l'épithélium oral), ce qui explique que l'émail est un tissu qui ne se régénère pas. Toute destruction de l'émail est donc irréversible.

L'amélogenèse (cycle de formation de l'émail) est un processus régulé par de nombreux peptides (AMEL, ENAM...) et autres molécules. Toute altération ou variation de ce processus entraînera des modifications structurelles de l'émail. (Comme par exemple les MIH et les Amélogenèses imparfaites). (LIGNON, GUILHEM 2015, 12)

Les cristaux qui constituent l'émail, s'organise en prisme (ou faisceaux de cristaux). Dans un même prisme, tous les cristaux d'apatites sont orientés parallèlement. Cependant, les prismes ne sont pas tous orientés parallèlement.

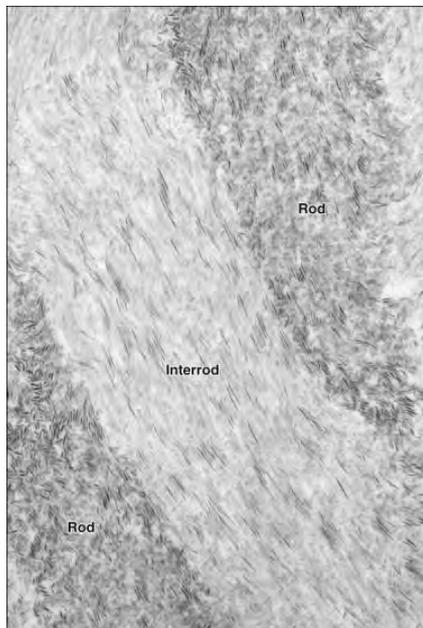
Il existe également un émail dit « aprismatique » qui n'est donc pas organisé en prisme d'émail. L'émail alterne les couches d'émail prismatique et les couches d'émail aprismatique.

Ces différences d'orientation permettent une propagation des fractures moindre et donc une plus grande résistance de l'émail. (WILMERS, BERGMANN 2020, 16)



(Figure 7 : Orientation discontinue de l'émail prismatique et inter-prismatique)

Sa forte minéralisation et sa structure complexe comme vu précédemment lui confère cependant une grande résistance aux forces et attaques extérieures (mastication, acides alimentaires...).



(Figure 8 : Organisation de l'émail en couches et couches intermédiaires)

Il reste néanmoins un tissu perméable aux échanges d'ions avec la cavité buccale et en particulier avec la salive (17).

L'émail joue donc un rôle primordial dans la protection de l'organe dentaire de par sa résistance et dans la fonction de ce dernier, puisqu'il contribue à la réduction du bol alimentaire lors de la mastication.

2.2.2 Un support de collage idéal

Lors de la préparation d'une dent pour une restauration adhésive, le praticien sera confronté à un ou deux supports de collage : l'émail et/ou la dentine.

Prenons l'exemple des restaurations de type facettes : Une méta-analyse de l'European Journal of Dentistry met en avant un pourcentage de survie le plus élevé lorsque les restaurations sont collées sur un substrat constitué à 100% d'émail.

L'exposition de plages dentinaires au niveau des préparations de facettes fait diminuer ce taux de survie. (AIJAZAIRY, YOUSRA 2021, 18)

Il en est de même pour des restaurations au niveau des secteurs postérieurs de types Inlays/Onlay/Overlays.

La situation idéale pour ce type de restauration est d'obtenir un bandeau périphérique d'émail (comme illustré ci-dessous) ou bien une surface 100% émail.



(Figure 9 : Bandeau d'émail périphérique sur préparation overlay)

Depuis le milieu du XXème siècle et le développement continu du collage dans l'art dentaire, de nombreuses études et articles ont mis en lumière que l'émail était sans contestation possible, le meilleur support dentaire pour le collage de pièces prothétiques. (RODRIGUES, RAMOS, FRANCISCONI 2015, 19 / MOGHADDAS, JAVAD 2017, 20)

L'émail est donc la surface à prioriser lors de nos préparations pour restaurations adhésives.

Cependant nous sommes souvent confrontés à un délabrement important des dents (en particulier au niveau postérieur).

En effet, la majeure partie des collages réalisés au niveau postérieur, s'effectue sur de la dentine et non de l'émail.

Des remontées de marge sont parfois nécessaires et de larges plages dentinaires sont exposées, ce qui présente un challenge plus important pour une dentisterie adhésive pérenne.

2.3 La dentine

2.3.1 Structure et composition

La dentine est le composant le plus volumineux de la dent. Elle est recouverte de l'émail sur la partie coronaire et de ciment sur la partie radiculaire.

Les odontoblastes sont les cellules responsables de la formation de la dentine.

Contrairement à l'émail, la dentine a une structure désorganisée, elle ne s'organise pas en prisme.

Ses cristaux d'hydroxyapatites sont ordonnés de manière aléatoire.

Elle est composée :

- D'une phase minérale représentant environ 45% du volume
- D'une phase organique (principalement du collagène) représentant environ 33%
- D'eau pour le volume restant.

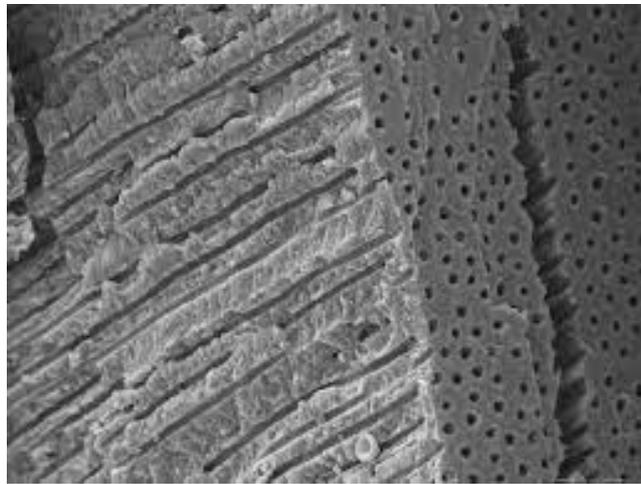
Cependant, cette composition varie en fonction de la localisation de la dentine dans la dent.

L'eau de cette dernière est située au niveau des tubules dentinaires.

Le diamètre de ces tubules dentinaires augmente de la jonction dentine-émail vers la pulpe dentaire.

La dentine la plus proche de la pulpe est donc plus riche en eau que la dentine la plus superficielle.

De par sa structure tubulaire, la dentine est un composant très perméable de la dent.



(Figure 10 : Tubulis dentinaire au microscope)

La dentine est retrouvée au niveau de l'organe sous 5 types différents suivant la phase de formation : dentine primaire / dentine secondaire / dentine tertiaire / la dentine du manteau / jonction émail-dentine.

Ces dentines sont de composition et de fonction différentes. La dentine tertiaire par exemple a un rôle de défense pulpaire vis-à-vis des agressions extérieures que peut subir l'organe dentaire (TJÄDERHANE, CARRILHO 2012, 21).

2.3.2 Un défi de collage quotidien

Contrairement à l'émail qui est considéré par la littérature comme un support de collage fiable, la dentine elle, reste depuis de nombreuses années un véritable défi lorsqu'elle est le support de collage de nos restaurations.

Comme le montre l'étude de 1995 de Jorge Perdigao et Edward J Swift intitulée " Bonding to Enamel and Dentin : a brief History and state of the art ", c'est une différence de structure et de composition qui empêche un collage aussi optimal que celui sur l'émail.

La dentine a une composition et une structure qui varie suivant la zone dentinaire où nous nous trouvons. En effet, elle contiendra plus ou moins d'eau et sera plus ou moins perméable.

Toutes ces variations rendent d'autant plus compliquée la prédictibilité de la force de liaison lors de nos collages sur ce substrat.

Pour rendre plus concret les propos précédent, l'article de T.Tjaderhane intitulé « Dentin bonding : Can we make It last ? » assure que la force de liaison sur la dentine profonde diminue de 30% à 50% par rapport à la dentine superficielle, notamment à cause de la quantité d'eau qui varie suivant la profondeur. (TJÄDERHANE 2015, 22)

Cet article semble confirmé par celui de E.L.Pashley "Bond strengths to superficial, intermediate and deep dentin in vivo with four dentin bonding systems " qui montre des valeurs d'adhésion dégressives en se rapprochant de la pulpe. (PASHLEY, TAO 1993, 23).

De plus, le boue dentinaire ou « smear layer » créée lors de la préparation dentaire, ne rend que plus difficile l'adhésion prothèse/dent car elle bouche la lumière des tubulis dentinaires et rend la dentine beaucoup moins perméable aux agents de liaisons.

Cette même boue dentinaire est le siège de bactéries qui peuvent se placer sous la pièce lors d'un collage et être responsable de caries secondaires qui sont

problématiques dans la pérennité de nos traitements (SWIFT, PERDIGAO, HEYMANN 1995, 24).

Il sera donc intéressant dans cette étude, d'utiliser la dentine comme support de collage afin de mesurer les valeurs d'adhésion dans des conditions « non optimales », se rapprochant au maximum des conditions réelles que peuvent rencontrer les dentistes au cours de leur pratique.

3 Les matériaux d'assemblage

3.1 Généralités

Dans notre profession qui évolue sans cesse, l'odontologie conservatrice prend une place de plus en plus importante.

En effet, la volonté de préserver au maximum les tissus dentaires nous amène à nous servir de tous les outils disponibles pour se faire.

Les composites de restaurations, de collage sont indispensables pour les traitements conservateurs tels que les onlays et overlays.

C'est pour cela que le marché des matériaux d'assemblages dentaires grandit continuellement depuis des années, proposant aux praticiens toujours plus de produits différents. (MAGNE, OPDAM, FRANKERBERGER 2016, 25)

Dans cette partie, nous tenterons d'exposer au mieux les différents mécanismes de collages ainsi que les différences entre les produits proposés par les fabricants.

3.1.1 Définition d'un matériau d'assemblage

Les matériaux d'assemblages sont des polymères organiques constitués d'une matrice d'esters méthacryliques à laquelle est incorporé ou non des charges minérales. Quasiment toutes les colles sont des polymères chargés, cependant, la totalité des colles possèdent un mode de durcissement par polymérisation.

Cette polymérisation donne aux matériaux d'assemblages une grande cohésion, qui leur permet de résister à de fortes contraintes.

Elle résulte d'une réaction chimique où des molécules de petits poids moléculaire (monomère ou pré-polymère) réagissent entre elles pour donner des molécules de plus haut poids moléculaire (polymères).

Selon la nature chimique du matériau d'assemblage ainsi que de sa composition en charges, chaque matériau pourra avoir des propriétés différentes. Certains seront très rigides tandis que d'autre seront plus élastiques. (CHERON, DEGRANGE 2007, 26)

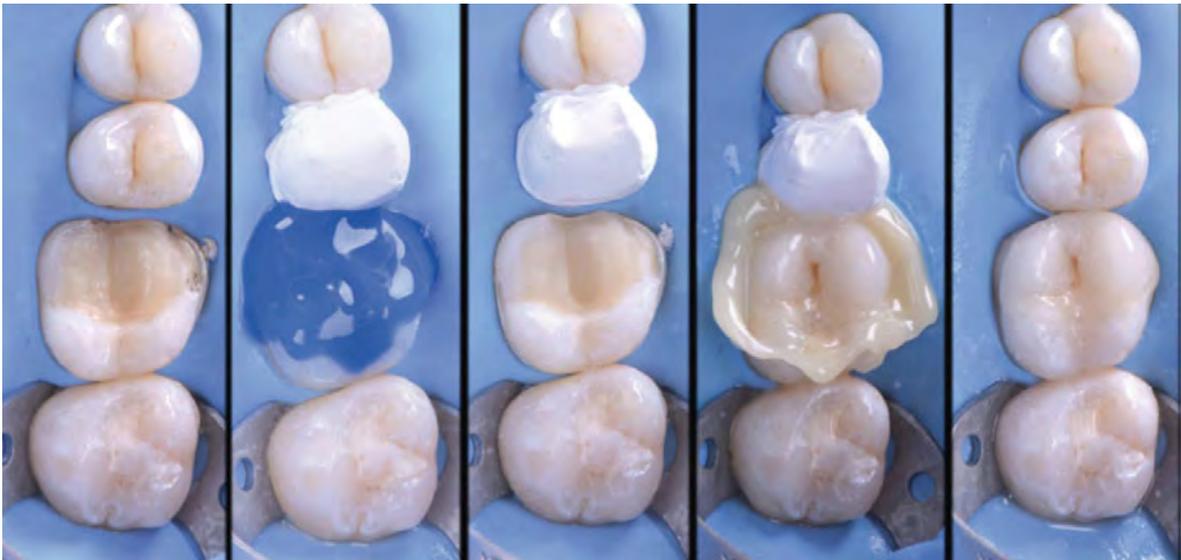
Connaître les propriétés des matériaux d'assemblages que l'on utilise lors de notre pratique permet de s'adapter au mieux sur chaque cas clinique différent.

3.1.2 Différents types de polymérisation

Les matériaux d'assemblages possèdent plusieurs types de polymérisation possible :

- Photopolymérisation pure
 - Polymérisation chimique (= Chémopolymérisation)
 - Photopolymérisation et Chemopolymérisation : Polymérisation Duale
-
- La polymérisation pure : Lorsque le matériau d'assemblage est mono composant. Sa polymérisation se réalise entièrement à l'aide d'une lampe à photo-polymériser. Le temps de prise est donc contrôlable par l'opérateur. Cependant, la polymérisation est limitée par la diffusion de la lumière jusqu'au matériau d'assemblage. (À éviter donc pour les restaurations d'épaisseur importante).

C'est par exemple le cas pour des restaurations collées à partir de composite de restauration chauffé ou composite fluide.



(Figure 11 : Restauration partielle collé avec un composite de restauration réchauffé - Le Fil Dentaire Dr. BONNAFOUS)

- La polymérisation chimique : Correspond au mélange de deux composants, la base et le catalyseur. Dès le début du mélange, l'opérateur dispose d'un temps de travail et de prise qui sont limités par la nature de la réaction des deux composants.
- La polymérisation duale : est une addition des deux types de polymérisation décrits ci-dessus. Une partie chimique et une partie photonique. Elle est intéressante car elle assure une bonne polymérisation sous les pièces d'épaisseur importantes grâce à sa partie chimique. Cependant, le temps de travail se retrouve réduit pour le praticien, ce qui peut poser un véritable problème lors des collages à pièces multiples.



(Figure 12 : Nexus 3 (KERR) et Relyx Ultimate (3M), deux matériaux d'assemblages à prise duale du marché actuel)

3.1.3 Différentes propriétés

Dans la partie précédente, nous avons vu que les matériaux d'assemblages peuvent être classés selon leur mode de polymérisation. Ils peuvent cependant être différenciés selon leurs propriétés intrinsèques en trois sous catégories :

- Les matériaux sans potentiel adhésif
- Les matériaux avec potentiel adhésif
- Les matériaux auto adhésifs

Les matériaux d'assemblages peuvent être donc différenciés selon leur mode de polymérisation et leurs propriétés adhésives.

- Les matériaux d'assemblages sans potentiel d'adhésion : Ils nécessitent l'application d'un système adhésif (SAM ou M&R) avant mise en place du matériau d'assemblage.

Le système adhésif permet l'adhésion entre les surfaces dentaires/pièce prothétique et le matériau d'assemblage.

Le matériau d'assemblage quant à lui permet de faire le joint entre les deux surfaces.

Ce type de matériau d'assemblage peut être à prise photo-polymérisable pure ou à prise duale



(Figure 13 : matériaux d'assemblages sans potentiel d'adhésion à polymérisation photonique ou duale)

- Les matériaux d'assemblages avec potentiel d'adhésion : sont assez proches des matériaux d'assemblages sans potentiel adhésif à la différence que leurs matrices résineuses possèdent des groupements chimiques capables d'induire des liaisons avec les surfaces dentaire et surfaces prothétiques lors de leur polymérisation. Cependant, malgré ce potentiel adhésif, ces matériaux d'assemblages nécessitent un traitement de surface préalable des surfaces dentaires et de pièces prothétiques, et parfois également un primer afin d'assurer une adhésion maximale.

Un des matériaux d'assemblages les plus connue de cette sous famille est le Panavia (KURARAY). Il possède des groupements MDP-10 (Méthacryloyloxydecyl Dihydrogène Phosphate) qui favorise grandement l'adhésion aux pièces en céramique.



(Figure 14 : Panavia V5, matériau d'assemblage avec potentiel d'adhésion et prise duale)

- Les matériaux d'assemblages auto-adhésifs : Cette famille de matériaux est la plus récente. Par soucis de faciliter la manipulation des opérateurs, les industriels ont commercialisé des matériaux ne nécessitant pas de traitement de surface ou d'application d'adhésif préalable à l'application du matériau d'assemblage.

Ces matériaux s'utilisent en une seule étape (un primer est utilisé pour certaines marques), leur application est plus aisée et rapide qu'avec les deux familles de matériaux d'assemblages précédents.

Ces matériaux d'assemblages possèdent des groupements réactifs à base de phosphate qui leur permet d'avoir une adhésion aux surfaces dentaires et sur les matériaux prothétiques.

L'un des chefs de file de cette famille de matériaux d'assemblages est le Relyx Unicem 2.

D'après la littérature, le RXU2 possède des valeurs d'adhésions parmi les plus élevées dans cette catégorie de matériaux d'assemblages. (27,28,29,30)



(Figure 15 : Relyx Unicem 2, 3M)

Les trois familles de colles décrites précédemment nécessitent cependant toute une chose en commun : une isolation de l'humidité.

En effet, la mise en place d'un champ opératoire étanche (digue) est indispensable afin d'éviter toute contamination bactérienne ainsi que d'avoir des valeurs d'adhésions les plus élevées et reproductibles possible.

Les colles - Réaction de prise : polymérisation		
<p>Sans propriété adhésive <i>Duales: requièrent des traitements de surface et l'emploi d'agents de coupages</i></p> 		<p>Variolink (Vivadent) Calibra (Dentsply) Choice (Bisico) RelyX ARC (3M/ESPE) Nexus (Kerr-Hawe) ParaCem (Coltène) Multilink (Vivadent) DentoCem (Itena-GACD)</p>
<p>Avec propriété adhésive <i>Possèdent des monomères fonctionnels mais requièrent des traitements de surface</i></p> 	<p>Duales Chemo</p>	<p>Panavia F2 (Kuraray) Superbond (Sun Med) M Bond (Tokuyama)</p>
<p>Auto-adhésives <i>Ne requièrent aucun traitement préalable</i></p> 	<p>Duales Chemo</p>	<p>Rely X Unicem (3 M ESPE) Maxcem (Kerr-Hawe) Multilink Sprint (Vivadent) BisCem (Bisico)</p>

* La liste des produits cités n'est pas exhaustive

(Figure 16 : Tableau non exhaustif des matériaux d'assemblages selon leurs propriétés adhésives)

3.1.4 Choix du matériau d'assemblage

Nous avons vu dans les parties précédentes qu'il existe beaucoup de matériaux d'assemblages différents, avec des propriétés d'adhésions différentes et des modes de polymérisation différents.

Chaque cas clinique doit amener le praticien à réfléchir sur le matériau d'assemblage le plus adapté pour sa situation clinique.

Épaisseur de la pièce prothétique, possibilité d'isoler avec un champ opératoire étanche, type de matériaux prothétique utilisé, temps de travail nécessaire, zone antérieure esthétique ou postérieure...

Autant de variables qui vont orienter le praticien vers une catégorie de matériaux d'assemblages ou une autre, avec un type de polymérisation précis.

Le développement du marché des matériaux d'assemblages constamment croissant permet aux praticiens de trouver pour chaque situation clinique, le matériau le mieux adapté.

4 Proposition d'un protocole expérimental : Comment objectiver les valeurs d'adhésion de nouveaux matériaux d'assemblages ?

4.1 Objectifs

4.1.1 Objectif principal de l'étude

Le protocole proposé durant cette thèse a pour objectif principal de mesurer les valeurs d'adhésion des différents matériaux d'assemblages.

On entend par valeur d'adhésion, la valeur (en mégapascal MPa) maximale qu'il faut exercer sur l'interface pièce prothétique/surface dentaire pour qu'il y ait une rupture entre ces deux.

En effet, lors d'un collage d'une pièce prothétique sur une surface dentaire, cet ensemble pièce/dent va subir différentes forces (traction, compression, cisaillement entre autres) suivant sa position au niveau de l'arcade, la physiologie masticatoire du patient.

Suivant la valeur d'adhésion, cet ensemble résistera plus ou moins à ces forces.

Pour une même contrainte, certains matériaux d'assemblages résisteront tandis que d'autres auront un phénomène de rupture, synonyme d'échec pour la restauration dentaire.

Ici, l'objectif sera de mesurer la résistance (ou valeur d'adhésion) des différents matériaux d'assemblages inclus dans l'étude afin de déterminer lesquels sont les plus performants pour un type de matériaux prothétique donné et dans les conditions décrites dans les parties suivantes.

Les paramètres et conditions de cette proposition de protocole expérimental se basent sur les retours de protocoles expérimentaux, visant à standardiser au maximum ces tests d'adhésions. L'article « Adhesion Testing of Dentin Bonding Agents : A Review » décrit avec précision tous les paramètres susceptibles d'amener de la variabilité dans notre protocole. (PASHLEY, SANO, CIUCCHI 1995, 31)

4.1.2 Objectifs secondaires de l'étude

L'objectif secondaire de cette étude sera d'étudier le type de fracture des ensembles pièces/dents.

Suivant le matériau d'assemblage utilisé, le type de contrainte exercé, le mode de fracture ne sera pas le même pour tous les échantillons.

La rupture se fera au niveau où les valeurs d'adhésion sont les plus faibles, en d'autres termes, là où la résistance est la plus faible.

Il sera donc intéressant d'observer au microscope électronique, à quelle interface (colle/dent, colle/pièce, intra colle), la rupture s'est propagée, afin de déterminer pour chaque colle, quel est l'endroit le plus faible de la liaison entre les deux substrats.

4.2 Matériels et méthodes

4.2.1 Présentation de l'étude

Cette étude a pour objectifs comme vu précédemment d'évaluer les valeurs d'adhésions de deux nouveaux matériaux d'assemblages mis récemment sur le marché.

Pour pouvoir les évaluer, nous devons donc les comparer à des matériaux déjà présents depuis un certain temps et qui sont considérés comme des « références » dans le milieu de la dentisterie adhésive.

De ce fait, deux matériaux d'assemblages dits « référents » seront présents dans cette étude. Ils seront présentés ultérieurement dans cette partie.

Le protocole regroupera 70 molaires humaines sur lesquelles des collages de disques de composites seront effectués. Chaque groupe aura 10 molaires qui lui seront attribuées.

Une fois ces collages réalisés, des tests de contraintes seront réalisés sur les échantillons collés afin d'en déduire leurs valeurs d'adhésion.

Le but dans ce protocole étant d'avoir les manipulations les plus standardisées possible au cours de cette étude afin d'éviter toute variation de résultats non lié aux propriétés intrinsèques des matériaux d'assemblages.

4.2.2 Présentation des produits

Dans un premier temps, nous présenterons les deux matériaux d'assemblages ciblés par ce protocole, récemment commercialisés : G-Cem One (GC) et Relyx Universal (3M).

Seront ensuite décrits les deux matériaux d'assemblages dits de « références » ainsi que leurs adhésifs, pour enfin finir par le substrat prothétique qui sera appliqué sur les dents.

4.2.2.1 G-Cem One

Le premier, G-Cem One, développé par l'entreprise Japonaise GC est présenté comme un matériau d'assemblage auto-adhésif.

Il a été mis sur le marché durant l'année 2020.

Il est décrit par son entreprise comme un matériau universel, opérateur-tolérant qui tout en facilitant la mise en œuvre clinique, permet d'obtenir des valeurs d'adhésion élevées.

Le G-Cem One se présente sous forme de seringue à piston classique. Il possède un primer en option, l'Adhesive Enhancing Primer (AEP).

Une étude faite en 2020, "Effect of Exclusive Primer and Adhesive on Microtensile Bond Strength of Self-Adhesive Resin Cement to Dentin" montre une résistance à la traction plus élevée lorsque le matériau est utilisé avec son primer AEP. (9,5 mTBS pour le matériau d'assemblage utilisé seul contre 20,1 mTBS avec utilisation du primer AEP). (KIM, BIT, SUNG, PARK 2020, 32)

Il sera donc intéressant de comparer les résultats obtenus avec ceux de cette étude afin d'objectiver si les deux études concourent dans la même direction.

Sa prise est duale, une partie des monomères se convertissent seuls tandis qu'une autre partie est convertie grâce à la photopolymérisation d'une lampe.



(Figure 17: G-Cem One starter Kit)

4.2.2.2 Relyx Universal

Le deuxième matériau d'assemblage ciblé dans ce protocole expérimental est le Relyx Universal, développé par la grande entreprise américaine 3M, et plus précisément par leur branche dédiée aux produits de santé 3M ESPE.

Cette résine de collage, apparue pour la première fois sur le marché fin de l'année 2020, est présentée comme un matériau auto-adhésif, mais qui peut toutefois être utilisé avec l'adhésif Scotchbond Plus (3M), développé également par 3M ESPE.

Le Scotchbond est un adhésif universel qui a depuis des années fait ses preuves dans le domaine du collage.

En effet, des études révèlent de bonnes valeurs d'adhésion pour cet adhésif. (TSUJIMOTO, BARKMEIER 2017, 33, MILLAN, FABIANA 2016, 34)

De même que le G-Cem One, le Relyx Universal est un matériau d'assemblage à prise duale. Il y aura donc une partie de photopolymérisation avec la lampe.

Il est également vendu sous forme de seringue à piston avec embout mélangeurs classiques.



(Figure 18 : Relyx Universal et ScotchBond Plus)

4.2.2.3 G-Cem LinkForce

Le G-Cem LinkForce est un composite de collage sans potentiel d'adhésion, à prise duale.

Il est recommandé de l'utiliser avec son adhésif G-Premio Bond ainsi que son primer G-Multi Primer. (ROZAN, SHIN, TAKAHASHI 2020, 35)

Sur le marché depuis maintenant quelques années, il est considéré comme une des références parmi les composites de collage.

En effet de nombreuses études ont révélé que le G-Cem Linkforce donnait des valeurs d'adhésion parmi les plus hautes du marché, que ce soit avec un support céramique ou composite.

Pour cette raison, nous avons inclus ce matériau d'assemblage dans notre étude afin qu'il serve de référence et permette de comparer ses valeurs avec celles des deux matériaux plus récents testés dans de protocole. (36,37,38,39)



(Figure 19: Starter Kit G-Cem Link Force)

4.2.2.4 Relyx Unicem 2

Le deuxième matériau « référence » est cette fois un matériau avec potentiel d'adhésion, qui ne nécessite aucun traitement de surface de la dent. Il s'agit du Relyx Unicem 2 Automix distribué par 3M ESPE.

Il est présenté comme un ciment de scellement auto adhésif. D'après le fabricant, aucun traitement de surface dentaire n'est nécessaire avant son utilisation.

Cela exempte donc de l'application de mordantage et d'adhésif, son protocole est donc simplifié par rapport aux matériaux d'assemblages sans potentiel d'adhésion.

Sous forme de seringue classique, le Relyx Unicem est depuis une dizaine d'années maintenant, l'une des références sur le marché des matériaux d'assemblages auto-adhésifs.

Une étude comparant le Relyx Unicem 2 et le G-Cem One a mis en évidence des valeurs d'adhésion supérieure pour la première. Que ce soit avant ou après la mise en thermocycleuse des échantillons, le Relyx Unicem 2 serait supérieur en valeur d'adhésion.

Il sera donc opportun de comparer nos résultats avec ceux obtenus dans ce protocole. (YU, HAO, KEIICHI 2019, 27)

Malgré certaines études contradictoires, le Relyx Unicem 2 reste une des références actuelles sur le marché des matériaux d'assemblages auto-adhésifs. (28,29,30).



(Figure 20: Starter Kit Relyx Unicem 2 Automix)

4.2.2.5 CeraSmart 270

Tous les matériaux d'assemblages précédemment présentés vont permettre de coller des disques du substrat prothétique choisi, qui est dans ce protocole, le matériau hybride Cérasmart 270 de chez GC.

En effet, le Cerasmart 270 a une composition partagée entre une partie céramique et une partie résineuse.

Ces matériaux commencent à se développer, car ils sont très intéressants lorsque le praticien veut faire des pièces usinées.

Le Cerasmart donne des limites d'ajustage parmi les plus précises sur le marché des matériaux hybrides.

De plus, le Cerasmart 270 est un matériau qui répond bien aux traitements de surface (sablage, mordantage) par rapport à ses équivalents du marché. Les traitements de surface effectués avant les tests prendront alors toute leur importance. (NAGASAWA, YUKO, YASUSHI 2020, 39)

Dans notre protocole, chaque bloc de Cérasmart donnera plusieurs disques, qui serviront à fabriquer tous les échantillons testés.

Il existe plusieurs teintes de matériaux et différentes translucidités. Ici, tous les blocs auront la même teinte et la même translucidité, par soucis de réduire les variabilités non liées aux propriétés intrinsèques des matériaux d'assemblages.



(Figure 21 : Blocs de Cérasmart 270 GC)

4.2.3 Critères d'inclusion des dents

Les dents choisies pour cette étude seront sélectionnées suivants plusieurs critères :

4.2.3.1 Types de dents

Les dents choisies devront obligatoirement être des molaires, en position 6, 7 ou 8 indifféremment.

Le choix a été de cibler les dents postérieures, car ce sont les principales concernées pour les restaurations collées de type onlay/overlays sur de la dentine (Les praticiens sont souvent confrontés à des lésions carieuses profondes sur les dents postérieures).

Les dents antérieures seront principalement sujettes au restauration collées sur émail de type facettes.

4.2.3.2 État des dents

Les molaires incluses dans l'étude devront être vierge de toute restauration, lésion carieuse ou toute autre pathologie susceptible de réduire ou d'interférer avec leur valeur d'adhésion une fois préparées. Elles devront donc être en parfait état (racines et couronnes) pour pouvoir être incluses dans l'étude.



(Figure 22 : Molaires conservées dans un milieu humide)

4.2.3.3 Conservation des dents

Lors de la récolte et durant la durée permettant de récupérer le nombre de dents nécessaires à l'étude, les dents devront être conservées dans un milieu permettant leur désinfection et empêchant leur déshydratation (qui aurait une importante influence sur la qualité et la résistance du collage par la suite).

Le but étant encore une fois ici de standardiser au maximum toutes les étapes antérieures aux manipulations de laboratoire.



(Figure 23/24 : Lieu de stockage des dents)

(Conservation dans des pots hermétiques)

4.2.4 Recueil des données

Une fois les manipulations et les tests effectués sur tous les échantillons de cette étude, les résultats seront relevés et analysés sous forme de tableaux comparatifs entre les différents matériaux d'assemblages.

De ces tableaux, nous pourrions extraire les résultats et donc conclure sur une amélioration ou non, des valeurs d'adhésions de nos deux nouveaux matériaux testés dans ce protocole expérimental.

4.3 Protocole expérimental

4.3.1 Etapes du protocole

Après le recueil des dents suivant les conditions vues précédemment, le début du protocole a proprement parlé peut commencer.

Les étapes seront réalisées suivant la chronologie détaillée :

4.3.1.1 Préparation des dents

- La partie radiculaire de chaque dent a été mise dans de l'ivolène, ce qui permettra une manipulation plus aisée des échantillons lors des étapes suivantes.



(Figure 25 : Dent enveloppée dans l'ivolène avant découpe)

- Les dents sont ensuite coupées à l'aide d'un disque diamanté basse vitesse sous irrigation. La coupe est faite parallèlement à l'axe mésio-distal de la couronne et de profondeur environ égale à 2mm. Ainsi une large plage de substrat dentinaire est mise au jour pour le futur collage.



(Figure 26 : Surface dentaire après découpe au disque basse vitesse)

- Lorsque la coupe des dents est réalisée, les dents sont ensuite nettoyées à l'aide d'un bac à ultrason afin d'éliminer la boue dentinaire générée à la surface de la dent.

4.3.1.2 Préparation des blocs Cerasmart 270

- Les blocs hybrides sont découpés en disques de 2mm d'épaisseur à l'aide du même disque diamanté qui a servi à la découpe des dents, sous irrigation également.

4.3.1.3 Traitement de surface

Les dents et disques une fois préparés vont subir ou non, suivant leur groupe, un conditionnement de surface. Nous allons classer suivant les groupes, le traitement de surface appliqué à la dent et à la pièce prothétique.

- GROUPE 1 : G-Cem One avec son Primer sera appelé GCOP. Le G-Cem One étant présenté comme un matériau auto-adhésif, aucun traitement de surface préalable ne sera nécessaire, que ce soit au niveau de la surface dentaire ou de la surface prothétique.

Lors du collage, seul le primer est appliqué avec un microbrush à la surface de la dent. Les fabricants recommandent de masser le substrat dentaire pendant 10 secondes avant de souffler de l'air pendant 5 secondes. (40)

Le matériau d'assemblage est directement appliqué sur la pièce prothétique avant que l'ensemble ne soit assemblé à la dent.

Lors de ce protocole, il sera donc important de suivre les recommandations fabricants afin de nous rapprocher au maximum des conditions réelles en cabinet.

- GROUPE 2 : G-Cem One sans son Primer (GCO). Le traitement de surface sera également nul comme pour le groupe 1. Seul le matériau d'assemblage sera appliqué sur la pièce prothétique qui sera directement collée sur le substrat dentaire.

Le but de ce groupe est d'objectiver si oui ou non, le primer fourni avec le G-Cem One a une influence sur la valeur d'adhésion.

- GROUPE 3 : Relyx Universal avec son adhésif universel ScotchBond Plus (RXUS). Contrairement au groupe G-Cem One et malgré le fait que le Relyx Universal soit aussi présenté comme un matériau auto-adhésif, le traitement de surface sera différent puisque les données fabricants sont différentes. (41)

Pour le collage des matériaux hybrides (comme c'est le cas dans cette étude), le fabricant décrit le protocole suivant :

La surface prothétique devra être sablée à la poudre d'Oxyde d'aluminium 50 microns, puis nettoyée avec de l'alcool, séchée. L'adhésif universel sera alors appliqué pendant 20 seconde et séché pendant 5 secondes.

La surface dentaire sera elle traitée avec 15 à 30 secondes de mordantage à l'acide orthophosphorique, rincée et séchée, puis l'adhésif universel sera appliqué 20 secondes à l'aide d'un microbrush et séché pendant 5 secondes.

Le matériau d'assemblage sera ensuite appliqué sur la prothèse pour le collage.

- GROUPE 4 : Relyx Universal sans adhésif ScotchBond Plus (RXU). Comme pour le G-Cem One, ce groupe sans utilisation de l'adhésif universel nous permettra de mettre en lumière un effet ou non de l'adhésif sur la valeur d'adhésion du Relyx Universal.

Dans ce groupe il n'y aura donc aucun traitement de surface que ce soit pour la surface dentaire ou pour la pièce prothétique.

- GROUPE 5 : Relyx Unicem 2 sans adhésif universel (RXU2). Il est présenté comme un matériau auto-adhésif, la surface dentaire ne subira donc aucun traitement si ce n'est le séchage avec un jet d'air.

Pour la surface prothétique, les fabricants conseillent de réaliser le sablage à la poudre d'oxyde d'aluminium 50 microns, suivit d'un rinçage abondant de la surface. (42)

Aucun adhésif ne sera appliqué sur l'une des deux surfaces.

- GROUPE 6 : Relyx Unicem 2 avec adhésif universel ScotchBond (RXU2S). Les traitements de surface seront les mêmes que pour le groupe 5. Cependant l'adhésif universel ScotchBond sera appliqué, à l'aide d'un microbrush pendant 15secondes sur la surface dentaire et prothétique, puis soufflé pendant 5 secondes avant d'être polymérisé.

En comparant les résultats de ce groupe avec ceux du groupe 5, nous objectiveront alors l'influence de l'utilisation d'un adhésif universel avec le Relyx Unicem 2, sur les valeurs d'adhésion de celle-ci.

- GROUPE 7 : G-Cem LinkForce (LKF) sera utilisé selon les données des fabricants, respectant le protocole suivant :

La surface dentaire sera traitée à l'aide d'un mordantage à l'acide orthophosphorique à 37% pendant 30 secondes sur la partie émail, et 15 secondes sur les plages dentinaires. S'en suivra un rinçage à l'eau abondant et un séchage.

Le G-Premio Bond sera appliqué à l'aide d'un microbrush pendant 10 secondes puis sécher pendant 5 secondes avant d'être photopolymérisé pendant 10 secondes.

Le substrat prothétique sera quant à lui traité par micro sablage à l'oxyde d'aluminium 50 microns puis rincé et séché.

Il lui sera ensuite appliqué le G-Primer à l'aide d'un microbrush qui sera séché pendant 5 secondes. (43, ETIENNE 2017, 44)

Le matériau d'assemblage sera ensuite appliqué directement sur la prothèse lors du collage.

4.3.1.4 Le collage des disques Cerasmart 270

Une fois que tous les échantillons sont prêts pour le collage, 10 disques de Cérasmart seront collés par groupe. (Chaque disque traité spécialement suivant le matériau d'assemblage qu'il reçoit)

Afin de standardiser le plus possible le moment du collage, un poids constant d'un kilogramme sera appliqué sur la pièce prothétique pendant le retrait des excès et jusqu'à que la photopolymérisation soit complète.

Chaque face de l'ensemble dent/prothèse sera photopolymérisée 45 secondes à l'aide d'une lampe VALO avec une puissance de 3200 mW/cm².

Les excès seront enlevés à l'aide d'une sonde et le joint sera lissé à l'aide d'un pinceau.

4.3.1.5 Stockage des dents avant tests

Suite aux collages des disques de Cerasmart, les échantillons seront conservés pendant 24h dans une eau à 37 degrés afin de permettre une conversion plus complète des monomères présents dans les résines de collage.

En effet, suite à un collage que ce soit in vitro ou dans la cavité buccale, la conversion se poursuit pendant un temps, après la photopolymérisation avec la lampe. Les fabricants des matériaux d'assemblages estiment qu'un temps de 24h avant le début des tests est nécessaire pour que la conversion soit complète.

4.3.1.6 Séparation des échantillons

Une fois les échantillons prêts à réaliser les tests, ceux-ci vont être séparés en deux groupes.

Pour une même dent, une première moitié des échantillons seront envoyés directement aux tests.

La seconde moitié des échantillons de cette même dent seront envoyés à la thermocycleuse.

La thermocycleuse est un système permettant de plonger successivement les échantillons dans des bains d'eau de températures différentes passant de 5°C à 55°C.

Ce système permet de simuler la fatigue et les contraintes que peut subir la restauration dans le milieu buccal.

Un passage dans la thermocycleuse semble réduire significativement la résistance à la traction des restaurations collées d'après Alaa Morsy el Araby (2007).

Cependant, des différences peuvent être observées entre les différents matériaux d'assemblage et selon le support de collage (émail/dentine).

En effet, certains matériaux peuvent même sortir de la thermocycleuse avec de meilleures valeurs d'adhésion qu'en y entrant. (MORSY, EL ARABY 2007, 45)

Il sera intéressant de constater, pour chaque matériau d'assemblage testé, les variations de valeurs d'adhésions.

Les échantillons vont donc subir des cycles afin de simuler l'usure de la cavité buccale.

Une fois le thermocyclage fini, les échantillons pourront être testés avec les mêmes tests subit par l'autre moitié des échantillons qui eux ne sont pas passés par la thermocycleuse.

Le but de cette manipulation est de mesurer l'évolution des valeurs d'adhésion des matériaux d'assemblages dans le temps.

En terme clinique, le praticien pourra avoir une idée de la façon dont son matériau d'assemblage et sa restauration vont vieillir dans la bouche du patient.

4.3.2 Tests réalisés

Le test choisi pour tous les échantillons de ce protocole expérimental est le test de traction.

Les bâtonnets obtenus ont ainsi été fixés des deux côtés par la machine.

Une force de traction croissante leur a été appliquée jusqu'à la rupture du bâtonnet. La valeur la plus haute avant rupture de l'échantillon mesurée en MPa représente la valeur d'adhésion pour l'échantillon testé.

La revue de littérature : « Assessment of Bonding Effectiveness of Adhesive Materials to Tooth Structure using Bond Strength Test Methods : A Review of Literature » décrit avec précision tous les tests d'adhésion réalisables et plus précisément le test de traction qui nous intéresse pour ce protocole. (EL MOURAD, AMINAH 2018, 46)

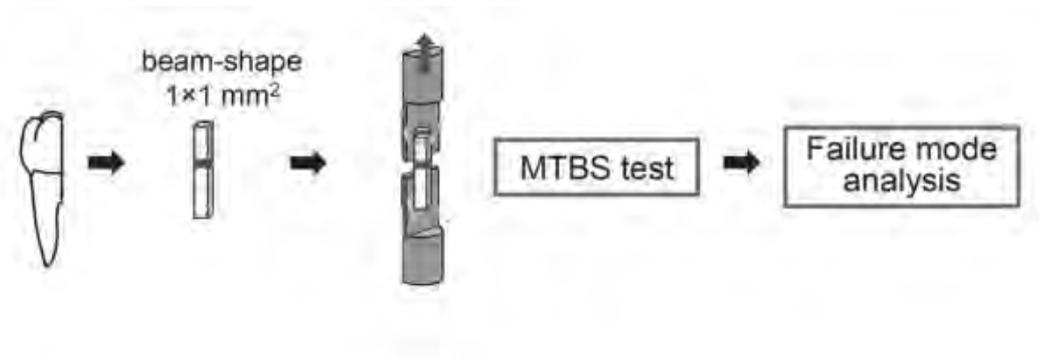
Plus la valeur d'adhésion est élevée, plus la force de collage de la colle testée est haute.

Tous les matériaux d'assemblage mis sur le marché visent à avoir une valeur d'adhésion la plus haute possible, qui se traduira par une plus grande résistance de l'ensemble pièce/dent aux forces extérieures rencontrées dans la cavité buccale.



(Figure 27 : Machine permettant de réaliser le test de traction)

Schématiquement, la chronologie du test devra suivre le schéma ci-dessous. 50% des échantillons devront au préalable être passés par la thermocycleuse avant de suivre le reste du protocole.



(Figure 28 : Schéma de la chronologie du test de traction)

Une fois les tests réalisés, une étude au microscope électronique permettra de voir précisément à quel endroit la fracture s'est propagée et de classifier les différents types de fractures.

Conclusion

Le collage présente une solution de choix pour la conservation et la préservation des tissus de l'organe dentaire. Bien que celui-ci se démocratise il nécessite une certaine rigueur protocolaire. Les innovations technologiques permettent de repousser petit à petit les protocoles et ainsi allège cette rigueur. Bien que les protocoles de collages se simplifient au fil des avancées des technologiques, ils restent des actes chronophages et complexes pour de nombreux praticiens.

Durant ce travail nous avons cherché à proposer un protocole expérimental afin de comparer ces nouveaux matériaux d'assemblage à leurs aînés qui ont fait leurs preuves et ont déjà été éprouvés dans la littérature.

Il nous a semblé pertinent de nous appuyer sur les travaux de d'autres équipes afin de limiter les biais protocolaires de cette expérimentation et ainsi obtenir des résultats les plus proches de la réalité clinique.

Il semble essentiel que chaque praticien puisse prendre connaissance des forces et faiblesses des matériaux d'assemblages qu'ils utilisent quotidiennement dans leur pratique.

Bien que l'innovation soit au coeur du métier et le révolutionne, il nous semble évident de préconiser la prudence vis à vis de la nouveauté tant que la science n'a pas apporté de preuve dans le sens de ces améliorations.

Une comparaison avec matériaux déjà éprouvés par la science semble essentielle avant leur utilisation dans nos cabinets.

Toutefois nous soulignons l'intérêt de ces nouveaux matériaux d'assemblages pour la profession, qui tendent à faciliter les protocoles, qui peuvent être fastidieux et peu accessibles aux praticiens débutant les restaurations adhésives.

Vu le directeur de thèse



Vu le président du jury



BIBLIOGRAPHIE

1. Gil Tirlet, Jean-Pierre Attal. « Le gradient thérapeutique, un concept médical pour les traitements esthétiques » L'information Dentaire, n°41/42, (Novembre 2009) : 2561-2568.
2. Weiser, Felix, et Michael Behr. « Self-Adhesive Resin Cements: A Clinical Review ». Journal of Prosthodontics 24, n° 2 (février 2015) : 100-108. <https://doi.org/10.1111/jopr.12192>.
3. M. Cebold, C. Bosso André. « Chronological History and Current Advancements of Dental Adhesive Systems Development: A Narrative Review ». Journal of Adhesion Science and Technology, Vol 35, Issue 18, (December 2020): 1941-1967. <https://www-tandfonline-com-s.docadis.univ-tlse3.fr/doi/epub/10.1080/01694243.2020.1865611?needAccess=true>.
4. Söderholm, Karl-Johan M. « Dental Adhesives How It All Started and Later Evolved ». The Journal of Adhesive Dentistry 9 Suppl 2 (2007) : 227-30.
5. German, Rebecca Z, Jeffrey B. Palmer. « Anatomy and Development of Oral Cavity and Pharynx ». GI Motility Online, (16 mai 2006). <https://doi.org/10.1038/gimo5>.
6. N. Nakabayashi, K. Kojia, E. Masuhara. « The Promotion of Adhesion by the Infiltration of Monomers into Tooth Substrates ». Journal of Biomedical Materials Research, Vol 16, Issue 3, (Mai 1982): 265-273. <https://doi.org/10.1002/jbm.820160307>.

7. Hans Jörg Staehle, Caroline Sekundo. "The origins of Acrylates and Adhesives Technologies in Dentistry." *The Journal of Adhesive Dentistry* 2, n°5 (Avril 2021): 397-406.

8. German, Rebecca Z, Jeffrey B. Palmer. « Anatomy and Development of Oral Cavity and Pharynx ». *GI Motility Online*, (16 mai 2006).
<https://doi.org/10.1038/gimo5>.

9. Clarence.B, Yates MB, C. Douglas MD « Oral Cavity and Oropharynx ». *Current Problems in Diagnostic Radiology* 30, n° 2 (1 mars 2001): 38-59.
<https://doi.org/10.1067/mdr.2001.113657>.

10. Gao, Lu, Tiansong Xu, Gang Huang, Song Jiang, Yan Gu, et Feng Chen. « Oral Microbiomes: More and More Importance in Oral Cavity and Whole Body ». *Protein & Cell* 9, n° 5 (1 mai 2018) : 488-500.
<https://doi.org/10.1007/s13238-018-0548-1>.

11. Lacruz, Rodrigo S., Stefan Habelitz, J. Timothy Wright, et Michael L. Paine. « Dental Enamel Formation and Implications for Oral Health and Disease ». *Physiological Reviews* 97, n° 3 (1 juillet 2017) : 939-93.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00030.2016>.

12. Lignon, Guilhem, Muriel de la Dure-Molla, Arnaud Dessombz, Ariane Berdal, et Sylvie Babajko. « L'émail : Un auto assemblage unique dans le monde du minéral ». *Médecine/sciences* 31, n° 5 (mai 2015) : 515-21.
<https://doi.org/10.1051/medsci/20153105013>.

13. Dr. BONNAURE, « UE3 Développement oro-facial ». (Octobre 2018)

14. E. Renard, S. Lopez-Cazaux, J. Guicheux, P. Weiss, O. Laboux. « Les Cellules Souches de La Pulpe Dentaire ». Comptes Rendus Biologies 330, n° 9 (1 septembre 2007) : 635-43. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.07.001>.
15. « Société Française de Parodontologie et d'implantologie orale - Le parodonte c'est quoi ? » <https://www.sfpio.com/espace-grand-public/informations-patients/le-parodonte-cest-quoi.html>.
16. J. Wilmers, S. Bargmann. « Nature's Design Solutions in Dental Enamel: Uniting High Strength and Extreme Damage Resistance ». Acta Biomaterialia, Vol 107, (15 avril 2020): 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.02.019>.
17. « Chapter 1 - Structure of the Oral Tissues | Elsevier Enhanced Reader ». <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-07846-7.00001-X>.
18. AlJazairy, Yousra H. « Survival Rates for Porcelain Laminate Veneers: A Systematic Review ». European Journal of Dentistry 15, n° 2 (mai 2021): 360-68. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1715914>.
19. R. Rodrigues, C. Ramos, P. Francisconi. « The Shear Bond Strength of Self-Adhesive Resin Cements to Dentin and Enamel: An in Vitro Study ». The Journal of Prosthetic Dentistry 113, n° 3 (1 mars 2015): 220-27. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.08.008>.
20. Moghaddas, M. Javad, Z. Hossainipour, S. Majidinia, N. Ojrati. « Comparison of the shear bond strength of self-adhesive resin cements to enamel and dentin with different protocol of application ». Electronic Physician 9, n° 8 (25 août 2017) : 4985-91. <https://doi.org/10.19082/4985>.

21. Leo TJÄDERHANE, Marcela R. CARRILHO, Lorenzo BRESCHI, Franklin R. TAY & David H. PASHLEY. « Dentin basic structure and composition: an overview » Endodontic Topics 20, (Janvier 2012) : 3-29.
22. Tjäderhane, L. « Dentin Bonding: Can We Make It Last? » Operative Dentistry 40, n° 1 (1 Janvier 2015): 4-18. <https://doi.org/10.2341/14-095-BL>.
23. Pashley, E. L., L. Tao, W. G. Matthews, et D. H. Pashley. « Bond Strengths to Superficial, Intermediate and Deep Dentin in Vivo with Four Dentin Bonding Systems ». Dental Materials 9, n° 1 (1 janvier 1993) : 19-22. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(93\)90099-C](https://doi.org/10.1016/0109-5641(93)90099-C).
24. Swift, Edward, Jorge Perdigao, et H Heymann. « Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995 ». Quintessence international (Berlin, Germany : 1985) 26 (1 mars 1995) : 95-110.
25. P. Magne, NJM. Opdam, R. Frankenberger « From 'Direct Versus Indirect' Toward an Integrated Restorative Concept in the Posterior Dentition | Operative Dentistry ». Oper Dent (2016): 27-34. <https://meridian.allenpress.com/operative-dentistry/article/41/S7/S27/107206/From-Direct-Versus-Indirect-Toward-an-Integrated>.
26. R. Cheron, M. Degrange « Colles et ciments. S'y retrouver et choisir spécial adhésion. » L'information Dentaire, n°18 (Mai 2007) : 1-8. <https://docplayer.fr/27875936-Colles-et-ciments-s-y-re-t-rouver-et-choisir-s-p-e-c-i-a-ladhesion-romain-cheron-michel-degrange-evaluation-formation-continue.html>.

27. Yu, Hao, Keiichi Yoshida, Hui Cheng, et Takashi Sawase. « Bonding of Different Self-Adhesive Resins to High-Strength Composite Resin Block Treated with Surface Conditioning ». *Journal of Prosthodontic Research* 63, n° 3 (1 juillet 2019): 340-46. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2019.01.008>.
28. Farias, David Cardoso Sandes, Letícia Machado Gonçalves, Ricardo Walter, Yunro Chung, et Markus Bernhard Blatz. « Bond Strengths of Various Resin Cements to Different Ceramics ». *Brazilian Oral Research* 33 (2019): e095. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2019.vol33.0095>.
29. Gamal, Reem, Yasser F. Gomaa, et Mostafa A. Abdellatif. « Microtensile Bond Strength and Scanning Electron Microscopic Evaluation of Zirconia Bonded to Dentin Using Two Self-Adhesive Resin Cements; Effect of Airborne Abrasion and Aging ». *Future Dental Journal* 3, n° 2 (décembre 2017) : 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.fdj.2017.07.002>.
30. Fehrenbach, Julia, Eliseu Aldrighi Münchow, Cristina Pereira Isolan, Lucas Pradebon Brondani, et César Dalmolin Bergoli. « Structural Reliability and Bonding Performance of Resin Luting Agents to Dentin and Enamel ». *International Journal of Adhesion and Adhesives* 107 (juin 2021): 102863. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102863>.
31. D. Pashley, H. Sano, B. Ciucchi. « Adhesion Testing of Dentin Bonding Agents: A Review ». *Dental Materials* 11, n° 2 (1 mars 1995): 117-25. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(95\)80046-8](https://doi.org/10.1016/0109-5641(95)80046-8).
32. Kim, Bit-Na, Sung-Ae Son, et Jeong-Kil Park. « Effect of Exclusive Primer and Adhesive on Microtensile Bond Strength of Self-Adhesive Resin Cement to Dentin ». *Materials (Basel, Switzerland)* 13, n° 10 (20 mai 2020). <https://doi.org/10.3390/ma13102353>.
33. Tsujimoto, A, Ww Barkmeier, T Takamizawa, Tm Wilwerding, Ma Latta, et M Miyazaki. « Interfacial Characteristics and Bond Durability of Universal

- Adhesive to Various Substrates ». Operative Dentistry 42, n° 2 (1 mars 2017) : E59-70. <https://doi.org/10.2341/15-353-L>.
- 34.A. Millan, S. Fabiana. « Laboratory Performance of Universal Adhesive Systems for Luting CAD/CAM Restorative Materials ». The Journal of Adhesive Dentistry 18, n° 4 (2 septembre 2016): 331-40. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36519>.
35. Rozan, Shin, Rena Takahashi, Toru Nikaido, Antonin Tichy, et Junji Tagami. « CAD/CAM-Fabricated Inlay Restorations: Can the Resin-Coating Technique Improve Bond Strength and Internal Adaptation? » Dental Material Journal, (2020).
36. Eskitaşçıoğlu, Murat, Rabia Bozbay, et Beyza Ünalın Değirmenci. « Effects of Accelerated Aging Cycles on Resin Cement-Glass Ceramic Bond Strength ». International Dental Research 11, n° 2 (31 août 2021): 121-28. <https://doi.org/10.5577/intdentres.2021.vol11.no2.10>.
37. Alev Mutlu, Ayşe Atay, Ebru Çal. « Bonding Effectiveness of Contemporary Materials in Luting Glass-Ceramic to Dentine: An In Vitro Study » Journal of Advanced Oral Research, (28 Novembre 2021). <https://journals-sagepub-com-s.docadis.univ-tlse3.fr/doi/full/10.1177/2320206820973496>.
38. H. Tsuka, K. Morita, K. Kato. « Evaluation of shear bond strength between PEEK and resin-based luting material » Journal of Oral Biosciences, Volume 59, Issue 4, (Novembre 2017): 231-236. https://www.sciencedirect-com-s.docadis.univ-tlse3.fr/science/article/pii/S1349007917300890?ref=pdf_download&fr=RR-9&rr=746e60efaa185caa.
39. Nagasawa, Yuko, Yasushi Hibino, Yoshikazu Eda, et Hiroshi Nakajima. « Effect of surface treatment of CAD/CAM resin composites on the shear bond strength of self-adhesive resin cement ». Dental Materials Journal advpub (2020). <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-431>.

40. G-Cem One, GC 2021.
41. 3M Relyx Universal, 3M, 2021.
42. Relyx Unicem 2 Automix, 3M, 2013.
43. G-Cem Linkforce, GC
44. Olivier Etienne. « G-Cem Link Force: Bonding Protocol for Indirect Ceramic Restorations ». Smile Dental Journal 12, n° 3 (septembre 2017): 34-36.
<https://doi.org/10.12816/0044023>.
45. El Araby, Alaa Morsy, et Yousef F. Talic. « The Effect of Thermocycling on the Adhesion of Self-Etching Adhesives on Dental Enamel and Dentin ». The Journal of Contemporary Dental Practice 8, n° 2 (février 2007): 17-24.
<https://doi.org/10.5005/jcdp-8-2-17>.
46. El Mourad, Aminah M. « Assessment of Bonding Effectiveness of Adhesive Materials to Tooth Structure using Bond Strength Test Methods: A Review of Literature ». The Open Dentistry Journal 12 (28 septembre 2018) : 664-78.
<https://doi.org/10.2174/1745017901814010664>.

Tableau des illustrations

Figure 1 : Développement et utilisation des résine acrylate entre 1843 et 1933

Source : « *The origins of Acrylates and Adhésives Technologies in Dentistry* »

Figure 2 : Développement et utilisation des résine acrylate entre 1930 et 1955

Source : « *The origins of Acrylates and Adhésives Technologies in Dentistry* »

Figure 3 : Concept du gradient thérapeutique de Tirlet et Attal 2009.

Source : « *Le gradient thérapeutique, un concept médical pour les traitements esthétiques* »

Figure 4: Schema de l'anatomie de l'oro-pharynx

Source: « *Anatomy and Development of Oral Cavity and Pharynx* »

Figure 5 : Le microbiome oral de la cavité orale chez l'homme

Source : « *Anatomy and Development of Oral Cavity and Pharynx* »

Figure 6 : L'anatomie d'une molaire mandibulaire humaine

Source :« *Dental Enamel Formation and Implications for Oral Health and Disease* »

Figure 7 : Orientation discontinue de l'émail prismatique et inter-prismatique

Source : « *Nature's Design Solutions in Dental Enamel : Uniting High Strength and Extreme Damage Resistance* »

Figure 8 : Organisation de l'émail en couches et couches intermédiaires

Source : « *Nature's Design Solutions in Dental Enamel : Uniting High Strength and Extreme Damage Resistance* »

Figure 9 : Bandeau d'émail périphérique sur préparation overlay

Source : Cas clinique Blum Paul

Figure 10 : Organisation de la dentine en tubulis dentinaire vue au microscope

Source : « *Dentin basic structure and composition : an overview* »

Figure 11 : Restauration partielle collé avec un composite de restauration réchauffé

Source : « *Les restaurations partielles collées dans le traitement de dents dévulpées* »

Figure 12 : Nexus 3 (KERR) et Relyx Ultimate (3M)

Source : Guide de données Kerr Dental et Guide de données 3M ESPE

Figure 13 : Colles sans potentiel d'adhésion à polymérisation photonique ou duale

Source : Guide de données 3M ESPE et Guide de données Ivoclar Vivadent

Figure 14 : Panavia V5, colle avec potentiel d'adhésion et prise duale

Source : Guide de données Kuraray

Figure 15 : Relyx Unicem 2, 3M. *Source : Guide de données 3M ESPE*

Figure 16 : Tableau non exhaustif des matériaux d'assemblages selon leurs propriétés adhésives *Source : « Colles et ciments. S'y retrouver et choisir spécial adhésion. »*

Figure 17 : G-Cem One starter Kit. *Source : Guide de données GC*

Figure 18 : Relyx Universal et ScotchBond Plus. *Source : Guide de données 3M ESPE*

Figure 19: Starter Kit G-Cem Link Force. *Source : Guide de données GC*

Figure 20 : Starter Kit Relyx Unicem 2 Automix. *Source : Guide de données 3M ESPE*

Figure 21 : Blocs de Cérasmart 270. *Source : Guide de données GC*

Figure 22 : Molaires conservées dans un milieu humide. *Source : Blum Paul*

Figure 23/24 : Lieu de stockage des dents et Conservation dans des pots hermétiques. *Source : Blum Paul*

Figure 25 : Dent enveloppée dans l'ivolène avant découpe. *Source : Blum Paul*

Figure 26 : Surface dentaire après découpe au disque basse vitesse. *Source : Blum Paul*

Figure 27 : Machine permettant de réaliser le test de traction. *Source : Blum Paul*

**TITRE EN FRANÇAIS : PROPOSITION D'UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL
POUR DEUX MATERIAUX D'ASSEMBLAGE : RELYX UNIVERSAL ET G-CEM
ONE.**

RESUME EN FRANÇAIS :

De nouveaux matériaux d'assemblage ne cessent d'émerger sur le marché actuel, malgré un nombre déjà très élevé de produits disponibles. Sont-ils réellement une avancée pour le domaine de l'odontologie restauratrice ? Cette thèse propose un protocole expérimental afin d'essayer de répondre à cette question. Ce protocole a pour objectif de tester deux nouveaux matériaux d'assemblage, le Relyx Universal et le G-Cem One. Ces avancées technologiques doivent être adoptées avec prudence par les praticiens tant qu'une étude scientifique n'as pas apporté la preuve de leurs améliorations.

**ENGLISH TITLE: PROPOSAL FOR AN EXPERIMENTAL PROTOCOL FOR TWO
ASSEMBLY MATERIALS: RELYX UNIVERSAL AND G-CEM ONE.**

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : CHIRURGIE DENTAIRE

MOTS-CLES :

Protocole, Expérimental, Collage, Overlay, Adhesion, Fracture, Analyse microscopique, Thermocyclage, Matériaux d'assemblage, Relyx Universal, G-Cem One, Cerasmart, Composite, Restauration.

INTITULE ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III-Paul Sabatier,

Faculté de santé

Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers

31062 Toulouse

Cedex 09

Directeur de thèse : Dr Nicolas ALAUX