



HAL
open science

Impact du scellement dentinaire immédiat pré-traitement endodontique sur le collage : proposition d'un protocole d'étude

Fanny Prince

► **To cite this version:**

Fanny Prince. Impact du scellement dentinaire immédiat pré-traitement endodontique sur le collage : proposition d'un protocole d'étude. Chirurgie. 2019. dumas-02407799

HAL Id: dumas-02407799

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02407799v1>

Submitted on 12 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix Marseille Université
(Administratrice provisoire : Madame le Professeur Simone BONNAFOUS)

***Impact du scellement dentinaire immédiat
pré-traitement endodontique sur le collage :
Proposition d'un protocole d'étude***

Présentée par

PRINCE Fanny

Né(e) le 03 mars 1994

A Marseille

Thèse soutenue le **Vendredi 25 octobre 2019**

Devant le jury composé de

Président : Professeur DEJOU Jacques

Assesseurs : Docteur MAILLE Gérald

Docteur GUIVARC'H Maud

Docteur DODDS Méлина

Invité : Docteur DEVICTOR Alix

THESE

***POUR OBTENIR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE***

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

Aix Marseille Université
(Administratrice provisoire : Madame le Professeur Simone BONNAFOUS)

***Impact du scellement dentinaire immédiat
pré-traitement endodontique sur le collage :
Proposition d'un protocole d'étude***

Présentée par

PRINCE Fanny

Né(e) le 03 mars 1994

A Marseille

Thèse soutenue le **Vendredi 25 octobre 2019**

Devant le jury composé de

Président : Professeur DEJOU Jacques

Assesseurs : Docteur MAILLE Gérald

Docteur GUIVARC'H Maud

Docteur DODDS Méлина

Invité : Docteur DEVICTOR Alix

REMERCIEMENTS

Aux membres du jury.

À Monsieur le Professeur Jacques DEJOU,

Professeur Universitaire, Praticien Hospitalier,

Merci de nous faire l'honneur de présider ce jury.

*Je vous remercie pour votre pédagogie, le partage de votre savoir ainsi que celui de votre
passion pour ce métier.*

*Je garderai d'excellents souvenirs de mes vacations d'urgences avec vous, votre bonne
humeur et votre sympathie.*

Veillez recevoir par ce travail, le témoignage de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur Gérald MAILLE,

Maître de Conférences des Universités

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury de thèse.

Je tenais à vous remercier pour tout ce que vous m'avez appris au cours de ces deux premières années d'internat et pour la confiance que vous m'avez accordé.

Merci pour vos conseils, votre bonne humeur, votre humour et votre savoir.

Veillez recevoir par ce travail l'expression de mon profond respect.

.

À Madame le Docteur Maud GUIVARC'H

Maître de Conférences des Universités

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury de thèse.

Je vous remercie pour votre implication auprès de chacun d'entre nous. Votre sympathie et votre dévouement envers vos étudiants nous rassurent et nous motivent.

Votre formation et votre rigueur m'ont appris à gérer des urgences de façon organisée.

Veillez recevoir par ce travail, le témoignage de ma profonde sympathie.

À ma directrice, Madame le Docteur Méлина DODDS

Assistante Hospitalo-Universitaire

Merci infiniment d'avoir accepté de diriger ce travail.

Vous m'avez permis d'en arriver à bout avec rigueur. Je ne pouvais pas imaginer terminer mon cursus sans vous avoir comme directrice.

Vous avez été présente dans la gestion de mes cas cliniques et dans mon apprentissage depuis le début.

Je tenais à vous remercier pour tout ce que vous m'avez apporté au cours de ces quatre années, tant au niveau professionnel que personnel.

Que ce soit pour vos explications théoriques, pratiques, l'accomplissement de certains gestes ou encore de l'écriture de ce travail vous vous êtes toujours montrée disponible et d'un grand soutien.

Je suis très heureuse de pouvoir clore mes années d'étudiante à vos côtés.

Recevez par cet ouvrage l'expression de mon admiration et de mon profond respect.

À Monsieur le Docteur Alix DEVICTOR

Assistant Hospitalo-Universitaire

Je vous remercie d'avoir accepté de siéger dans ce jury de thèse.

Vous m'avez fait confiance pour mener à bien ce sujet, qui était votre idée.

Merci de m'avoir aiguillée lorsque je me perdais dans ma rédaction ou dans ma réflexion.

Merci pour votre calme et votre implication au moment de la réflexion de certains cas complexes et pour l'apprentissage de l'utilisation d'un appareil photo.

Veillez recevoir par ce travail, le témoignage de ma profonde sympathie.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I. GÉNÉRALITÉS	2
A. Histologie de l'organe dentaire :	2
1. L'émail :	2
2. La dentine :	4
<i>a. Les différents types de dentine :</i>	<i>5</i>
<i>b. La structure tubulaire</i>	<i>6</i>
<i>c. La boue dentinaire</i>	<i>9</i>
3. Les propriétés physiques et mécaniques de l'émail et de la dentine	12
4. La pulpe :	14
B. L'irrigation endodontique et ses effets sur les tissus dentaires :	15
1. L'hypochlorite de sodium (= NaOCl) :	17
2. L'Éthylène Diamine TétraAcétate (= EDTA) :	21
3. Les bénéfices et les risques de l'association de l'hypochlorite de sodium et de l'EDTA	23
C. Le scellement de dentine immédiat (Immediat Dentin Sealing = IDS)	24
1. La couche hybride	25
<i>d. Le primer</i>	<i>25</i>
<i>e. La résine adhésive</i>	<i>27</i>
<i>f. La résine composite</i>	<i>28</i>
2. Protocole théorique de l'IDS :	30
II. MATÉRIEL ET MÉTHODE :	32
A. Population	32
1. Type d'étude :	32
2. Critère de sélection	32
<i>a. Critères d'inclusion :</i>	<i>32</i>
<i>b. Critères d'exclusion :</i>	<i>33</i>
3. Taille de l'échantillon :	33
4. Biais :	34

B. Méthodologie :	37
1. Désinfection :	38
2. Conservation :	38
3. Protocoles de l'étude :	40
<i>a. Protocole expérimental</i>	40
<i>b. Protocole type de l'irrigation :</i>	41
<i>c. Protocole de l'IDS</i>	42
<i>d. Collage</i>	44
C. Préparation des coupes à analyser	46
1. Réalisation des slices :	46
2. Réalisation des socles :	49
D. Test de micro-traction (microtensile test) et analyse au microscope électronique à balayage :	49
1. Principe du test micro-traction :	49
2. Types de fractures :	50
<i>a. Adhésive :</i>	51
<i>b. Cohésive :</i>	51
<i>c. Mixte = inter faciale :</i>	51
3. Analyse au microscope électronique à balayage (MEB) :	52
III. DISCUSSION : LIMITE DE L'ETUDE : LES BIAIS	52
IV. PROPOSITION DU PROTOCOLE DE L'ETUDE :	53
CONCLUSION :	60
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	1
BIBLIOGRAPHIE	1

INTRODUCTION

Le scellement immédiat de la dentine (Immediat Dentin Sealing = IDS) est majoritairement utilisé lorsque des pièces prothétiques collées sont réalisées sur des dents vitales afin de protéger le complexe pulpaire de toutes agressions physique, chimique et biologique durant la phase de temporisation. Ce terme de scellement immédiat de la dentine a fait son apparition dans les années 1990 (1). Il consiste en l'application d'un agent de collage sur la dentine fraîchement coupée afin d'obturer les tubuli mis à nus lors de la préparation.

Ce concept de réalisation de pièces prothétiques sur dents vivantes est récent et appartient à ce que l'on appelle aujourd'hui le concept de la dentisterie moderne. Il permet une économie tissulaire et un travail à minima.

Ainsi, la dentisterie moderne tend vers la réalisation de pièces prothétiques collées, moins délabrantes pour l'organe dentaire. Le collage est de nos jours un acte quotidien de cette dentisterie (2).

Dans le cas de dents devitalisées, le succès de la restauration coronaire améliore le pronostic du traitement endodontique. Cependant plusieurs paramètres, comme les produits d'irrigation, influent sur la qualité du substrat de cette restauration et donc sur sa pérennité (3).

En effet la procédure de collage des pièces prothétiques ou d'une restauration directe peut être affectée par la procédure d'irrigation à l'hypochlorite de sodium au cours du traitement endodontique.

L'hypochlorite de sodium est la solution d'irrigation de choix utilisée au cours des traitements endodontiques (4).

L'objectif de ce travail est de proposer un protocole basé sur l'intérêt d'une protection de la dentine camérale grâce à un scellement dentinaire immédiat pré-traitement endodontique comportant le moins de biais possible. Pour cela nous nous sommes basés sur un article de Bohrer de 2018 (5) répertoriant les biais relevés lors des études précédemment menées sur le sujet et un article de Magne (6) proposant un protocole d'étude validé comportant certains biais.

I. GÉNÉRALITÉS

A. Histologie de l'organe dentaire :

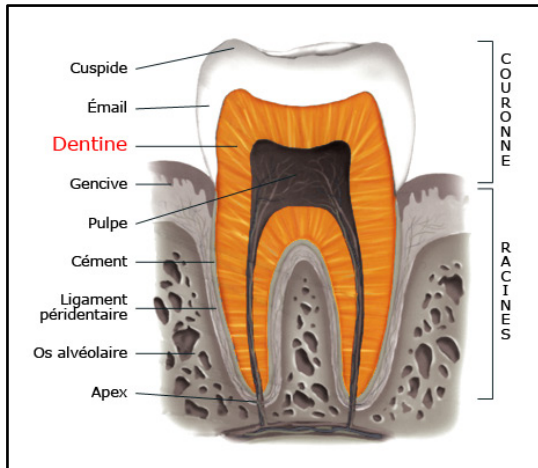
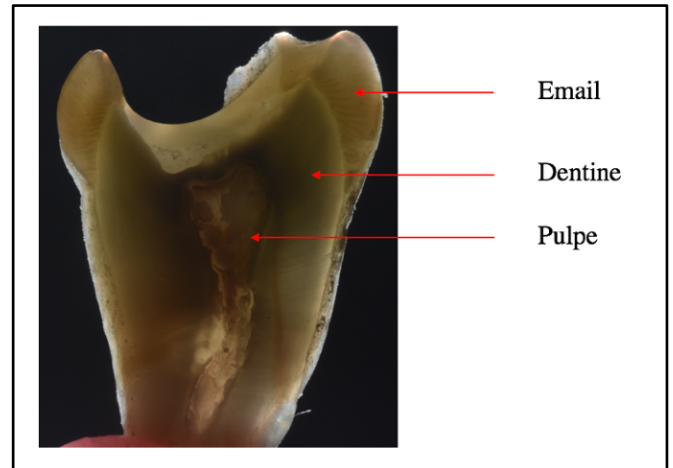


Figure 1 : Schéma de l'organe dentaire ¹



*Figure 2 : Coupe sagittale d'une dent humaine
(Courtoisie du Dr Meyer Jean)*

1. L'émail :

L'émail est la structure la plus minéralisée (96%) et la plus dure de l'organisme. Il est d'origine épithéliale et forme un recouvrement protecteur au niveau de la couronne anatomique des dents (8). On ne le qualifie pas de tissu mais plutôt de structure car il est acellulaire, avasculaire et non innervé.

	Poids	Volume
Matière minérale	96 %	87 à 91 %
Matière organique	0,4 %	2 %
Eau	3,6 %	7 à 11 %

Tableau 1 : Composition de l'émail mature humain

¹ <https://www.studiodentaire.com/fr/glossaire/dentine.php>

Le tissu amélaire se compose :

- D'une phase organique (la plus faible) principalement constituée de glycoprotéines et de polysaccharides
- D'une phase minérale essentiellement composée de cristaux d'hydroxyapatites.
- D'une phase aqueuse avec une proportion faible (1%) d'eau libre et 2,6% d'eau liée.

L'émail a une organisation tridimensionnelle complexe et organisée ce qui lui confère sa dureté et sa résistance aux forces masticatrices.

- L'émail prismatique est formé de monocristaux d'hydroxyapatite. Ces derniers s'assemblent dans un premier temps pour former des cristallites qui s'imbriquent ensuite pour donner naissance aux prismes d'émail. Les cristallites se divisent en deux organisations structurales distinctes selon l'orientation des cristallites présentes :
 - La substance prismatique avec les cristallites orientées parallèlement au grand axe du prisme.
 - La substance inter-prismatique avec les cristallites angulées par rapport au grand axe du prisme (englobe les bâtonnets)
- L'émail aprismatique est composé uniquement de cristallites et entoure l'émail prismatique.

Il existe également d'autres particularités dans la composition de l'émail avec la présence des stries de Retzius et les bandes de Hunter-Schreger.

2. La dentine :

La dentine est une structure extra-cellulaire sécrétée par les odontoblastes qui se calcifient avec l'accumulation d'hydroxyapatites (8) que l'on retrouve au niveau coronaire et radiculaire. Elle entoure le parenchyme pulpaire sauf au niveau des orifices apicaux. Elle est recouverte au niveau coronaire par l'émail qui la protège et au niveau radiculaire par le cément. C'est le tissu calcifié qui occupe quantitativement le volume le plus important de l'organe dentaire.

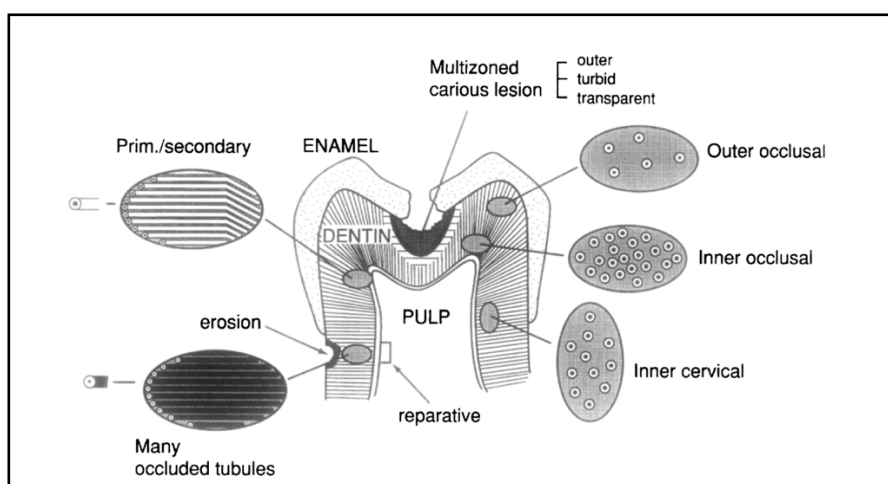


Figure 3 : Schéma de la dentine et de ses composants selon la localisation (9)

La dentine est composée dans des proportions différentes des mêmes phases que l'émail.

- La phase organique est principalement composée de collagène (environ 85%). On le trouve à l'intérieur des tubuli dentinaires et il est encapsulé par des cristallites d'apatites. Il est responsable de la ténacité des tissus minéralisés et sert de support pour la minéralisation.
- La phase minérale, moins importante qu'au niveau de l'émail, rend la dentine moins dure. Elle est composée essentiellement de cristaux d'hydroxyapatite.
- D'une phase aqueuse conséquente qui va compliquer le processus de collage.

	Pourcentages
Matière minérale	70 %
Matière organique	20 %
Eau	10 %

Tableau 2 : Composition de la dentine humaine (8)

a. Les différents types de dentine :

A l'inverse de l'émail qui connaît un processus limité dans le temps et qui n'évolue pas au cours de la vie d'une dent, la dentine se renouvelle et se modifie selon les facteurs environnants. Elle connaît alors une évolution constante avec des modifications liées à la physiologie, l'âge et les processus pathologiques (sécrétion de dentine secondaire ou tertiaire lors d'une agression). Ainsi au cours du cycle dentaire plusieurs types de dentines sont distingués(10).

- **La dentine circumpulpaire = dentine primaire** est caractérisée par la présence de tubuli dentinaires qui vont de la jonction amélo-dentinaire (JAD) jusqu'à la pulpe. Elle se développe durant la période de formation de l'organe dentaire jusqu'à la mise en occlusion et la fin de l'édification radiculaire
- **La dentine secondaire** se développe après l'éruption, la mise en occlusion de la dent et la formation radiculaire. Elle représente la continuité de la dentine primaire mais est sécrétée plus lentement.

- **La dentine tertiaire** se rencontre lors d'un phénomène pathologique. Il en existe deux types différents :
 - La dentine réactionnelle est produite par les odontoblastes lors d'une agression peu profonde et évoluant de manière chronique le long de la JAD. Elle peut être intra-tubulaire (formée aux dépens de la lumière des tubuli dentinaires) ou péri-pulpaire (à l'interface dentine-pulpe).
 - La dentine réparatrice est formée par les odontoblastes-like et apparaît lorsque les odontoblastes sont détruits lors d'une progression de la lésion carieuse en profondeur. Ainsi la dentine endommagée est remplacée par de la dentine réparatrice.

- **Dentine sclérotique ou sénescence :**
 - La dentine sclérotique apparaît au moment de la progression d'un phénomène délétère. Une minéralisation se crée au-delà de la dentine infectée ce qui limite la propagation des bactéries.
 - La dentine sénescence est un processus physiologique lié au vieillissement de la dent. Les prolongements odontoblastiques dégénèrent laissant un vide au sein des tubuli où de la dentine péri-tubulaire s'appose et une hyper-minéralisation apparaît.

b. La structure tubulaire

La structure biologique de la dentine est complexe, dotée de multiples tubuli dentinaires, orientés différemment selon leurs localisations. Ces tubuli la traversent de la JAD ou de la jonction émail-cément (JEC) jusqu'au complexe pulpaire. Ils occupent environ 1% de la surface dentinaire au niveau de la JAD et 22% au niveau du complexe pulpaire.

Leur orientation (en S, très allongés au niveau coronaire et rectilignes au niveau radiculaire) et leur densité (20 000 et 65 000/mm²) varient selon leur localisation au sein de la dentine (9). Cette orientation a une influence importante sur les propriétés physiques de la dentine (11).

Les tubuli se prolongent au fur et à mesure que les corps cellulaires reculent au cours de la dentinogénèse. Ils entourent le prolongement cytoplasmique des odontoblastes (fibres de Tomes) et parcourent la dentine avec une orientation perpendiculaire à la jonction pulpo-dentinaire tout en étant parallèles entre eux.

Les prolongements odontoblastiques sont entourés d'un fluide tubulaire faisant de la dentine un substrat humide. Cette humidité est responsable du développement de forces de liaisons non uniformes (selon l'orientation des tubuli dentinaires et selon la profondeur de la dentine sur laquelle le collage est réalisé) (12). L'humidité dentinaire augmente donc avec la profondeur de la dentine du fait de la présence de tubuli plus nombreux et plus larges en regard du complexe pulpaire.

Cette humidité diminue la qualité de l'adhésion face à des systèmes adhésifs hydrophobes (9,13). Toute fois si la dentine est trop déshydratée, le réseau collagénique s'effondre et il devient alors impossible au système adhésif de l'imprégner et de former une couche hybride.

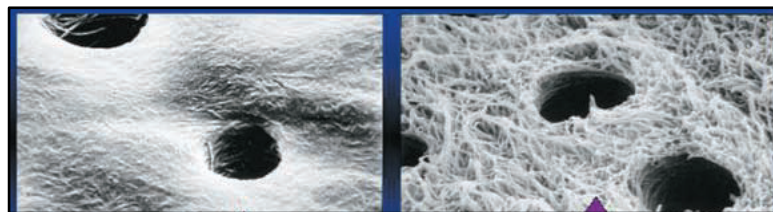


Figure 4 : Coupe microscopique d'un réseau collagénique collaspé (à gauche) et d'un réseau collagénique ré-hydraté (à droite) (14)

Susin cherche à mettre en avant l'influence de la surface dentinaire sur les forces de liaison obtenues (12). Il teste avec des systèmes adhésifs auto-mordançant (SAM) et avec des systèmes adhésifs à mordantage préalable (M&R) deux sites différents (occlusal et proximal) avec une orientation des tubuli différente (respectivement perpendiculaire et parallèle). Il en arrive à la conclusion que la dentine proximale a une force de liaison supérieure à la dentine occlusale et ce quel que soit le système adhésif utilisé.

En effet au niveau de la dentine proximale une couche hybride épaisse et des tags résineux sont retrouvés contrairement à la dentine occlusale.

Si lors du collage, l'émail, constitué de prismes et de peu de protéines, peut être totalement asséché avec le maintien de sa surface rugueuse (14) il n'en est pas de même pour la dentine, très minéralisée, qui doit rester hydratée. En effet, celle-ci contient un réseau collagénique indispensable à la réussite du collage.

Lorsque de l'acide est appliqué sur la dentine, elle passe d'une surface dure et minéralisée à une surface douce avec exposition des fibrilles de collagène et une élimination des minéraux. Les seuls éléments persistants sont les fibrilles de collagène, la phase minérale est remplacée par la résine adhésive.

La nouvelle surface existante est une surface hybride entre la dentine initiale et la résine adhésive, c'est de cet état de surface que s'est inspiré le Dr Nakabayashi en utilisant le terme de couche hybride.

En effet, au moment du séchage, si l'eau est totalement éliminée de la dentine, les fibrilles de collagène collapsent et forment une couche imperméable, empêchant l'infiltration de la résine adhésive. Face à cette couche imperméable, le primer ne peut plus interpénétrer le réseau collagénique et venir former la couche hybride. Or c'est l'obtention de cette couche, représentant une interface de collage (15), qui permet l'étanchéité et l'adhésion en créant une rétention micro-mécanique très élevée (14).

La rétention qui persiste est uniquement assurée par la présence des tags résineux qui se forment au niveau des tubuli dentinaires.

Il est donc indispensable de coller en milieu humide au niveau de la dentine afin de préserver une structure spongieuse maintenant érigé le système collagénique et permettant ainsi l'infiltration par les monomères de l'agent de liaison de la dentine (le primer et la résine adhésive).

c. La boue dentinaire

La boue dentinaire également appelée « smear layer » est une couche superficielle allant de 1 à 2 microns, déposée sur les parois canalaires lors de la désinfection mécanique du système canalaire (16).

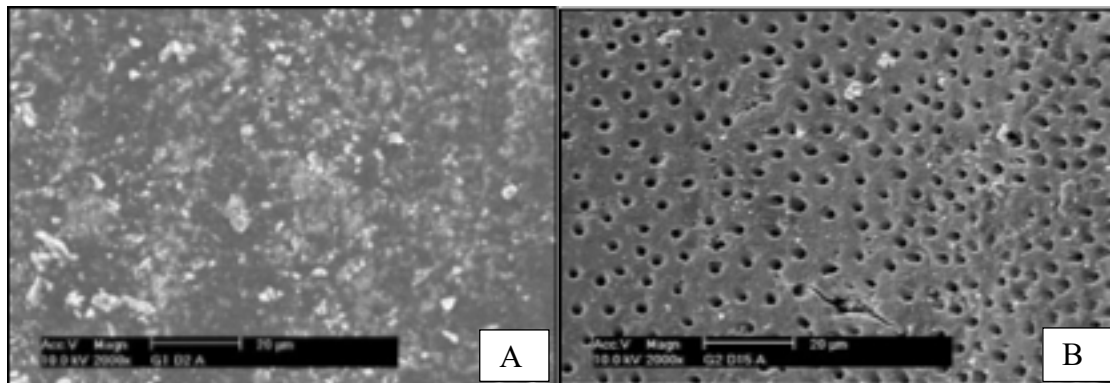


Figure 5 : A : Image au microscope de la smear layer. B : état de surface après élimination de la smear layer par une solution d'EDTA à 17% (17)

Il s'agit d'une couche hétérogène composée de résidus organiques (collagène dénaturé) et inorganiques comprenant des débris dentinaires, pulpaire (vitaux ou nécrotiques), des micro-organismes et leurs toxines (biofilm bactérien) ainsi que des particules des solutions d'irrigation utilisées au cours du traitement endodontique (18).

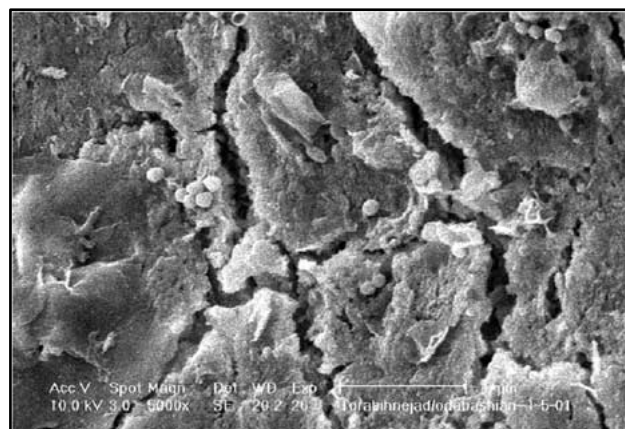


Figure 6 : Photographie d'une coupe de couche de smear layer après l'instrumentation d'un canal (MEB) (16)

Elle forme une barrière naturelle à la pénétration des solutions d'irrigation en direction de la pulpe mais est également un obstacle à l'adhésion car elle obture l'entrée des tubuli dentinaires (9, 18).

La smear layer atteint une épaisseur supérieure au niveau des tubuli pouvant aller jusqu'à 40 microns. Ceux-ci sont exposés lors de la mise en forme canalaire et permettent donc aux bactéries d'un diamètre inférieur d'y pénétrer et d'y demeurer à l'abri des instruments et des solutions d'irrigation.

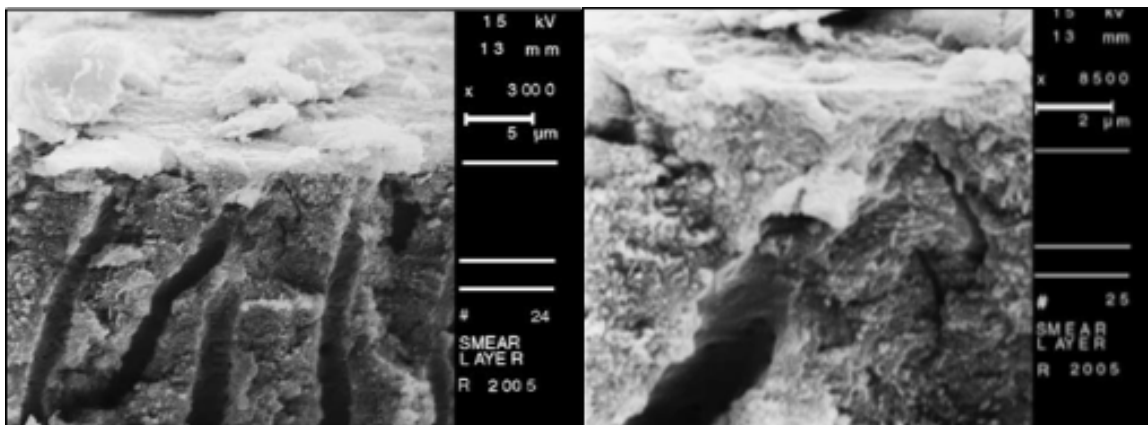


Figure 7 : A : Smear layer recouvrant la dentine. B : Infiltration de la smear layer dans les tubuli dentinaires (19)

L'élimination de ce substrat formé lors de la mise en forme mécanique du système canalaire est impérative, car les lésions péri-apicales ne peuvent pas se former en l'absence de bactéries (20). De plus elle augmente la perméabilité de la dentine. Ainsi pour la réalisation d'un protocole de collage efficace il est nécessaire de l'éliminer ou de la stabiliser avec un acide afin de permettre à l'agent de collage de diffuser au sein des tubuli.

Un des inconvénients majeurs à la conservation de cette couche est sa faible adhérence à la dentine (= 5 MPa) d'après Pashley (21).

Les systèmes adhésifs actuels utilisent des procédés différents. Certains permettent d'éliminer totalement la boue dentinaire puis de mordancer la dentine inter-tubulaire (M&R), et d'autres permettent de ne l'éliminer que partiellement et de maintenir en partie la smear layer qui a fusé au niveau des tubuli (SAM).

Au commencement les résines adhésives sont directement placées au contact de la boue dentinaire sans mordantage préalable. Cette technique empêche la résine adhésive de pénétrer au sein de la couche de boue dentinaire ou encore de former des tags résineux.

Aujourd'hui il a été prouvé que la force de liaison de cette technique équivaut à la l'adhésion de la boue dentinaire à la dentine, à savoir 5 à 10 MPa, et que par conséquent pour avoir une force de liaison supérieure cette boue dentinaire doit être supprimée (14).

Du fait de la constitution de la smear layer (à la fois organique et inorganique), l'hypochlorite de sodium seul ne peut avoir une efficacité complète sur elle.

De plus la smear layer se dissout dans des solutions acides. Il est donc impératif d'utiliser de l'éthylène diamine tétra acétate de façon synergique avec l'hypochlorite de sodium afin de permettre une élimination plus complète de cette couche (22–25).

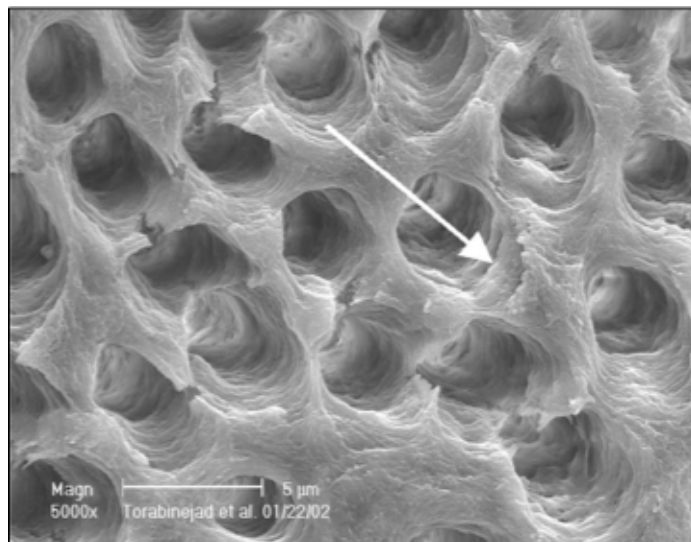
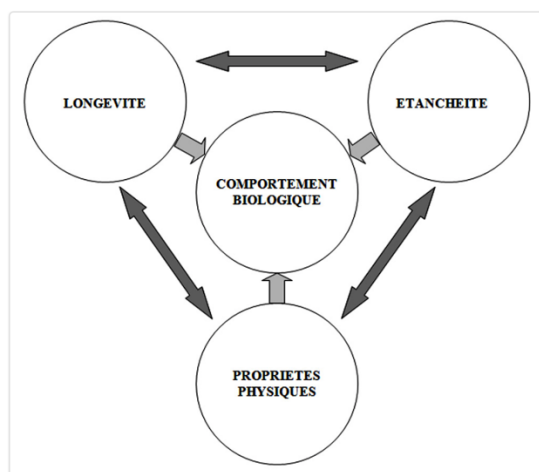


Figure 8 : Coupe microscopique de l'ouverture des tubuli dentinaires après le passage d'une solution d'EDTA (16)

3. Les propriétés physiques et mécaniques de l'émail et de la dentine

Dans une logique de dentisterie moderne et un respect du biomimétisme, il est intéressant d'utiliser des biomatériaux ayant des propriétés physiques, chimiques et mécaniques proches de celles des tissus dentaires. Un matériau de restauration coronaire doit bien entendu être dépourvu d'effets biologiques néfastes sur l'organisme².



*Figure 9 : Facteurs influençant le comportement biologique des matériaux de restauration*³

	Email	Dentine
Conductivité thermique	0,92 W/m/°C	0,22 W/m/°C
Module d'élasticité	84,1 GPa	18,3 GPa
Dureté	408 HV	90 HV
Résistance à la traction	10,3 MPa	98,7 MPa
Résistance au cisaillement	90 MPa	138 MPa

Tableau 3 : Tableau comparatif des propriétés physiques et mécaniques de l'émail et de la dentine (26,27)

^{2,3} <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap8/site/html/1.html>

Dans ce travail ce qui nous intéresse principalement est la valeur de la résistance à la traction des biomatériaux utilisés.

La conductivité thermique correspond à la quantité de chaleur transférée en une unité de temps (énergie) au travers d'un matériau d'une unité de surface et d'une unité d'épaisseur quand les deux faces opposées diffèrent d'une unité de température (aptitude d'un corps à conduire la chaleur qui lui est fournie).

Le module d'élasticité est aussi appelé le module de Young. Celui-ci définit la capacité qu'a un corps à se déformer de façon réversible. Ainsi plus sa valeur est élevée plus le matériau est rigide et a une capacité de déformation moindre.

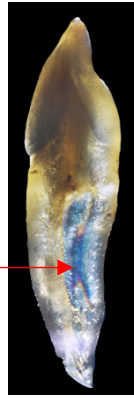
La dureté est la résistance qu'oppose un corps à la pénétration d'un autre corps théoriquement indéformable sous une charge constante (capacité d'un corps à résister à la déformation locale). La dentine étant soumise à moins de contraintes directes que l'émail a donc une valeur moins élevée.

La résistance à la traction est la contrainte à laquelle un matériau se rompt lorsqu'il est soumis à une force de traction constante. Cette propriété définit donc le caractère ductile (déformation que peut subir un corps avant de se rompre) ou fragile (rupture du matériau sans déformation préalable) d'un matériau.

La résistance au cisaillement correspond à la valeur à laquelle se rompt un corps soumis à des forces transversales croissantes.

4. La pulpe :

Complexe pulpaire



***Figure 10 :** Coupe sagittale d'un organe dentaire
(Courtoisie du Dr Meyer Jean)*

C'est un tissu conjonctif lâche, fibreux et spécialisé présent au centre de la dent. Elle se compose d'une couche d'odontoblastes en périphérie, de fibres nerveuses et de vaisseaux sanguins (28).

Le système pulpaire est entouré par de la dentine au niveau coronaire et radicaire. On peut dire que la pulpe mature est contenue dans un espace quasiment clos et inextensible. Seul le foramen apical n'est pas entouré de dentine. C'est à son niveau qu'arrivent les éléments qui assurent la vascularisation et l'innervation pulpaire.

La pulpe et la dentine sont couplées de façon fonctionnelle par la communication des odontoblastes et ne forment qu'un seul et même tissu. On parle alors de complexe pulpo-dentinaire (29)

Ainsi, dès lors que l'émail est éliminé et la dentine exposée, les mécanismes hydrodynamiques agressent le tissu pulpaire et sont responsables de la sensibilité pulpaire (29).

Cette agression de la pulpe peut être limitée grâce à une diminution de la perméabilité dentinaire. Elle peut être soit naturelle, mais mettra un temps considérable à se réaliser (30), ou induite grâce à l'obturation des tubuli dentinaires par des résines adhésives.

L'obturation des tubuli dentinaires par des matériaux comme des résines adhésives peut être une solution pour limiter l'agression pulpaire. Cela constitue un des objectifs du scellement dentinaire immédiat (31).

Cependant les matériaux de protection pulpaire doivent répondre à un cahier des charges. Ils doivent être biocompatibles, isoler le complexe pulpo-dentinaire des agressions externes et stimuler la dentinogénèse.

B. L'irrigation endodontique et ses effets sur les tissus dentaires :

La complexité anatomique du système canalaire oblige à réaliser un nettoyage efficace de celui-ci par l'utilisation d'instruments mécaniques dont l'action sera complétée chimiquement par des solutions antiseptiques. En effet, les instruments ne peuvent atteindre toutes les zones endo-canales (par exemple les canaux secondaires). Cependant malgré un nettoyage et une désinfection chimico-mécanique (32) il est impossible d'éliminer tous les micro-organismes, débris, toxines bactériennes et les bactéries du système canalaire (33).

Le protocole d'irrigation en endodontie a pour objectif de réaliser l'antisepsie de l'endodonte par élimination des bactéries et micro-organismes intra-canaux persistants, des toxines bactériennes ainsi que des débris organiques ou minéraux (20,32, 33).

La solution idéale doit avoir une action (32, 33) :

- Antiseptique avec l'élimination des micro-organismes
- Solvante sur les substrats organiques et inorganiques
- Lubrifiante pour faciliter le travail des instruments
- Effervescente afin de permettre la remontée des débris
- Éclaircissante afin de prévenir une coloration radiculaire à la suite du traitement endodontique.

De ce fait, de nombreuses solutions d'irrigation endodontique ont été testées, mais aujourd'hui aucune solution n'est capable à elle seule de remplir l'ensemble du cahier des charges (34). De plus un compromis sur la solution d'irrigation choisie doit être fait entre son pouvoir désinfectant et son altération des structures. Comme dit précédemment l'hypochlorite de sodium apparaît aujourd'hui comme étant la solution d'irrigation de référence (4, 32).

Afin d'améliorer l'élimination des bactéries et d'éviter le maintien d'une lésion péri-apicale ou l'apparition d'une nouvelle lésion des techniques d'optimisation des solutions d'irrigation ont été testées (35). Parmi celles-ci on peut citer principalement l'agitation manuelle de la seringue d'irrigation ou d'un cône de gutta percha, l'utilisation de brosses intra-canales, la pression apicale négative, l'agitation sonore et ultra-sonore et le laser (35).

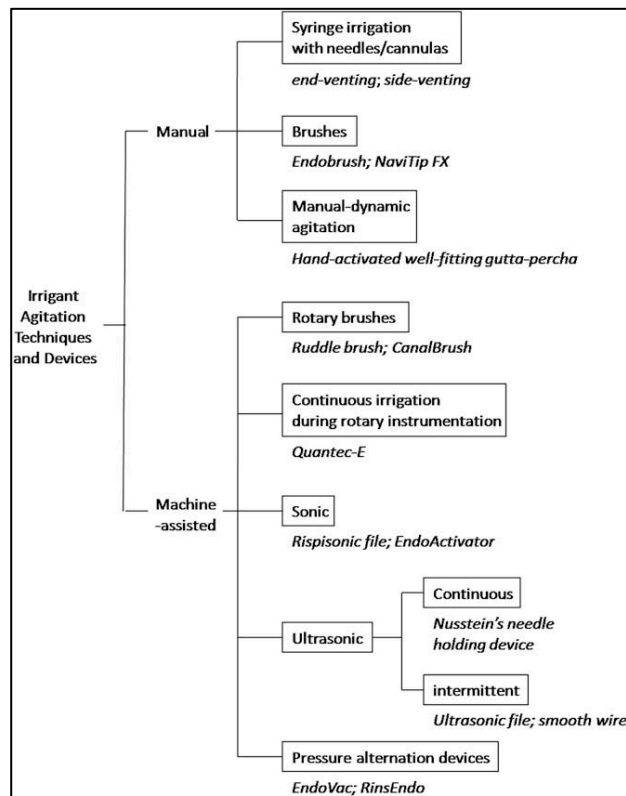


Figure 11 : Résumé des différents moyens d'activation des solutions d'irrigation (35)

Protocole d'irrigation canalaire au cours d'un traitement endodontique (36) :

Lors de la mise en forme des canaux 1 à 2 millilitres de solution d'hypochlorite de sodium sont utilisés entre le passage de chacun des instruments.

Une fois la mise en forme des canaux terminée et les cônes de gutta ajustés une irrigation finale est réalisé.

Une solution d'hypochlorite de sodium est injectée de façon active, les canaux sont ensuite séchés puis 1 millilitre de solution d'EDTA est passé pendant 1 à 3 minutes. Enfin, une dernière utilisation d'hypochlorite de sodium est injectée de manière passive cette fois-ci et les canaux sont séchés avant la phase d'obturation.

Il est important de sécher les canaux entre l'utilisation de la solution d'hypochlorite de sodium et de l'EDTA pour éviter une interaction entre les 2 solutions.

Il a été démontré que l'utilisation d'une solution de NaOCl de 2,5% à 5% suivie de l'utilisation d'EDTA à 17% a un effet bénéfique sur le succès du traitement endodontique (32).

1. L'hypochlorite de sodium (= NaOCl) :

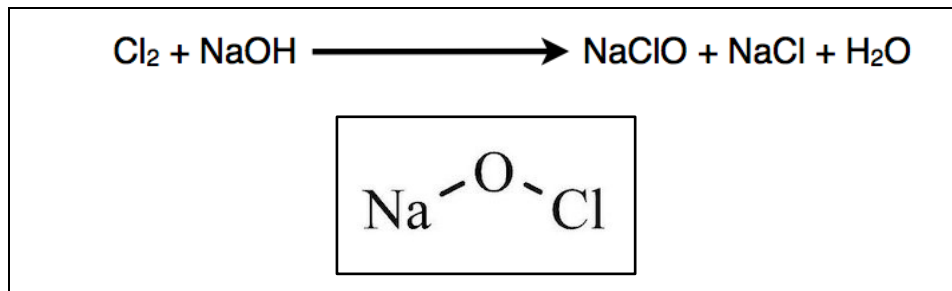


Figure 12 : Molécule d'hypochlorite de sodium

L'obtention d'hypochlorite de sodium se fait par la réaction entre du dichlore (Cl_2) et de l'hydroxyde de sodium (NaOH).

Utilisée lors d'un traitement endodontique, la solution doit avoir une concentration de 2,5% d'après les recommandations de la Haute Autorité de Santé 2008 pour être efficace.

Il s'agit d'un composé halogéné, instable nécessitant des conditions de stockage particulières (flacon en verre, hermétique, dans un lieu frais avec une absence de lumière et un temps de conservation court).

C'est un agent oxydant puissant avec un pouvoir antimicrobien (37, 38) et une capacité à dissoudre les résidus (grâce à son activité protéolytique) de tissus organiques (4, 5, 38, 39) comme les tissus nécrotiques, pulpaire, les micro-organismes et leurs toxines, mais également le collagène dentinaire.

Cependant cette solution possède plusieurs inconvénients comme une mauvaise odeur, une cytotoxicité (notamment pour le collagène qui impacte sur le collage), instabilité chimique, une absence d'efficacité sur la phase minérale (38, 40), une modification des propriétés mécaniques de la dentine (module d'élasticité, résistance à la rupture et résistance à la flexion) (39, 41).

Sa capacité à oxyder et hydrolyser les protéines cellulaires lui confère un rôle anti bactérien.

En effet dans l'eau, l'hypochlorite de sodium s'ionise et se dissocie en ions sodium (Na^+) et hypochlorite (OCl^-). Lorsque l'ion hypochlorite se trouve dans une solution au pH compris entre 4 et 7 il devient de l'acide hypochloreux (HOCl) avec une activité antibactérienne plus élevée que l'ion hypochlorite (42).

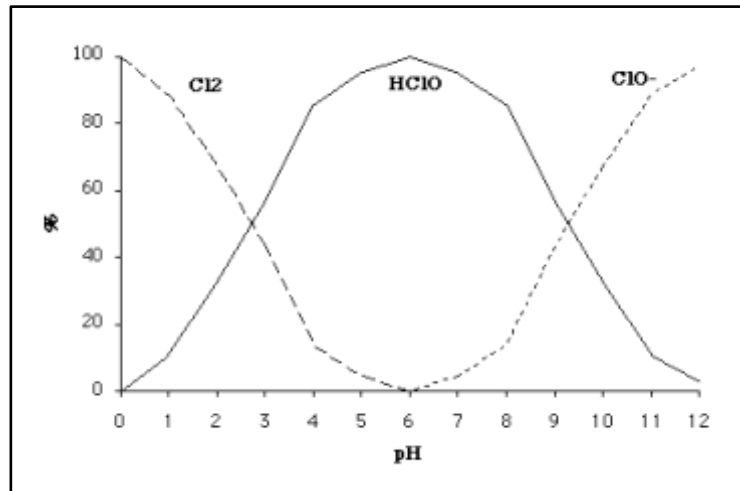


Figure 13 : *Courbes de concentrations des différentes formes hypochlorite, acide hypochloreux et dichlore en fonction du potentiel hydrogène (43)*

Hannig en 1999(44) montre dans une étude que lorsque de la dentine est exposée puis soumise à un traitement par acide phosphorique et d'hypochlorite de sodium concentré à 0,25%, une destruction des fibres de collagène est observée.

Or, dans le cadre d'un traitement endodontique la solution de NaOCl utilisée est concentrée à 2,5% soit une concentration 10 fois supérieure à celle nécessaire pour dégrader les fibres de collagène.

Dans une étude en 2017 Carvalho (3) et son équipe cherchent à montrer l'influence de différentes associations de solutions d'irrigation canalaire sur deux systèmes adhésifs (Adper Single Bond 2® et le Clearfil SE® Bond).

Ils en arrivent à la conclusion que les systèmes adhésifs auto-mordançant (SAM) ont une force de liaison supérieure aux systèmes nécessitant un mordantage préalable (M&R). Néanmoins ils exposent le fait qu'un biais dû à la préparation même des coupes analysées puisse être en cause.

En effet des études ont déjà mis en évidence que l'acidité du produit de mordantage (11) a un impact sur la force de liaison selon l'orientation des tubuli dentinaires et de la même façon sur l'émail selon l'orientation des prismes.

Effectivement Schiltz-Taing M (11) montre que l'orientation des tubuli influence l'action du monomère utilisé.

En effet, l'efficacité des SAM dépend principalement des propriétés physiques de l'adhésif et de l'intégrité de l'interface dentine-adhésif. Cette interface est également affectée par l'orientation des tubuli dentinaires. De plus la force de liaison initiale ainsi que sa durabilité sont dépendantes du pH du système adhésif et de l'orientation des tubuli dentinaires.

Il a été montré que lorsqu'un collage est réalisé sur une surface dentinaire parallèle à l'axe des tubuli les tags résineux ne se forment pas. En revanche lorsque le collage s'effectue sur une surface dentinaire perpendiculaire à l'axe des tubuli de longs et résistants tags résineux sont observés (11).

D'autre part, lorsque la surface de liaison est :

- Parallèle à l'axe des tubuli, la force de liaison est indépendante du pH.
- Perpendiculaire à l'axe des tubuli, la force de liaison est proportionnelle à la valeur du pH

Lorsque le pH au moment du collage est :

- Inférieur à 1,8 la smear layer est complètement éliminée ce qui permet une meilleure force de liaison (figure 14)

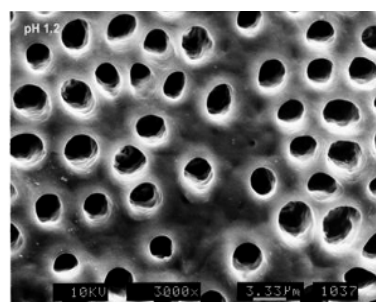


Figure 14 : Surface occlusale de la dentine après mordantage à l'acide phosphorique (32%) avec un pH inférieur à 1,8 (11)

- Supérieur à 2 la smear layer est partiellement solubilisée

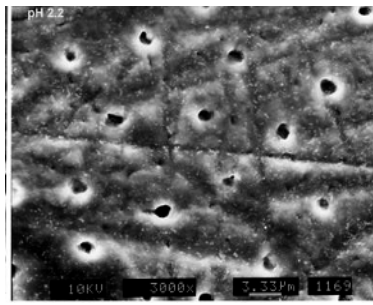


Figure 15 : Surface occlusale de la dentine après mordantage à l'acide phosphorique (32%) avec un $pH = 2,2$ (11)

- Supérieur à 2,3 la force de liaison est indépendante de l'orientation des tubuli dentinaires
- Supérieur à 3 la smear layer est complètement maintenue ce qui diminue la force d'adhésion.

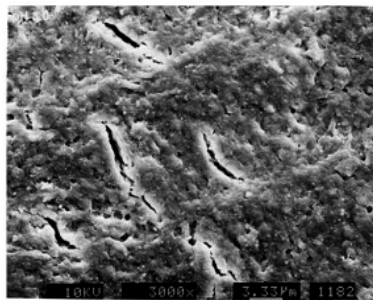


Figure 16 : Surface occlusale de la dentine recouverte de smear layer après mordantage à l'acide phosphorique (32%) avec un $pH = 3$ (11)

Enfin, l'hypochlorite de sodium ne possédant aucune action sur les substrats minéraux, il ne peut dissoudre totalement la boue dentinaire (« smear layer ») créée lors de la désinfection mécanique du système canalaire (32, 39). L'utilisation d'agents chélateurs comme l'EDTA devient alors indispensable. Néanmoins il ne faut pas utiliser ces deux solutions en mélange mais bien en alternance.

2. L'Éthylène Diamine TétraAcétate (= EDTA) :

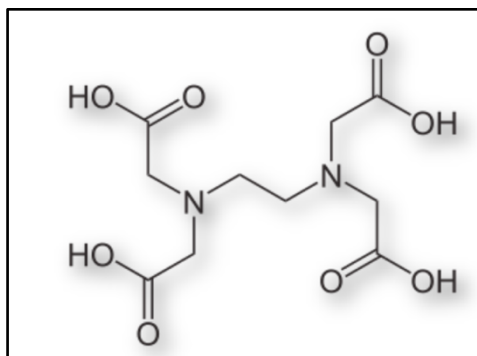


Figure 17 : Molécule d'EDTA

L'EDTA est un agent chélateur acide avec une action sur la partie minérale de la dentine. Il agit en tant que chélateur en extrayant des ions calcium et en déminéralisant les zones avec lesquelles il se retrouve en contact prolongé (45). La liaison entre l'EDTA et les ions calcium vient désorganiser la structure minérale dentinaire. Il agit en se fixant aux ions calcium présents sur les tissus minéralisés et désorganise ainsi cette phase minérale (capacité de chélation sur les ions calcium auto-limitante grâce au pouvoir tampon de la dentine (41)). Il est donc impossible de l'utiliser seul (39).

La modification de la teneur en ions calcium engendre une modification de certaines caractéristiques de la dentine comme la micro-dureté, la perméabilité ou encore la solubilité de celle-ci causant ainsi une diminution de l'interaction micromécanique entre les résines adhésives et la dentine traitée à l'EDTA (45).

Il a pour avantage contrairement à l'hypochlorite de sodium d'être biocompatible même si selon certaines études (46) il est préférable d'éviter une extrusion de la solution dans la partie péri-apicale. Il est utilisé lors des traitements endodontiques, comme lubrifiant, pour localiser des entrées canalaire calcifiées et lors de l'irrigation finale afin d'éliminer la smear layer (45). Il n'existe pas de consensus sur la durée d'utilisation efficace de l'EDTA.

Au cours d'un traitement endodontique il est utilisé pendant 1 à 5 minutes selon les besoins.

Dans une étude, Arslan montre que l'utilisation de l'EDTA pendant 5 minutes à une concentration élevée (entre 15 et 19%) a un impact sur la force de liaison des systèmes adhésifs au sein de la chambre pulpaire (45). Cependant, il s'utilise lors des traitements endodontiques à une concentration de 17% en alternance avec l'hypochlorite de sodium (32).

S'il a pour avantage d'éliminer la partie minérale de la dentine (smear layer) en revanche il n'a aucune activité anti-microbienne (4) ni d'action solvante sur la partie organique (47).

L'EDTA avec son action sur la phase minérale engendre une réouverture des tubuli dentinaires et ainsi une meilleure pénétration de la solution d'hypochlorite au sein de ces tubuli causant une plus importante destruction des fibres de collagène (48).

En effet dans une étude, Wagner et son équipe montrent que si l'EDTA est utilisé seul il n'élimine pas totalement la boue dentinaire. C'est l'utilisation alternée de solutions d'hypochlorite de sodium concentrée à 2,5% et d'EDTA à 17% qui provoque l'élimination des débris organiques et inorganiques, l'érosion des parois dentinaires (péri-tubulaire et inter-tubulaire) et l'altération des fibres de collagènes (39).

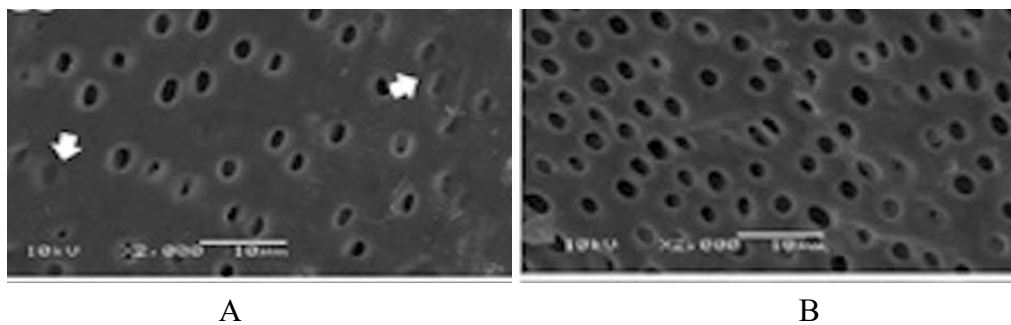


Figure 18 : Coupes au MEB de dentine A : après utilisation d'EDTA à 17%. B : après utilisation de NaOCl à 2,5% (39)

Protocole d'utilisation de l'EDTA :

L'EDTA en solution est donc utilisé principalement lors du rinçage final avant obturation. Cependant de l'hypochlorite doit être ré-injecté après son utilisation pour éliminer les particules restantes (19). L'irrigation finale joue un rôle essentiel dans le succès du traitement endodontique, permettant un nettoyage et une désinfection optimaux (39) (mise en forme canalaire terminée).

3. Les bénéfices et les risques de l'association de l'hypochlorite de sodium et de l'EDTA

L'EDTA et l'hypochlorite de sodium sont les solutions actuelles les plus utilisées et efficaces lors des traitements endodontiques.

Ainsi dans le cas où l'EDTA est utilisé en concomitance avec l'hypochlorite des précautions sont à prendre car il existe une forte interaction entre les deux solutions (49).

Le mélange d'EDTA à l'hypochlorite de sodium entraîne une réduction du pH de ce dernier. Cela affecte les formes de chlore libre dans la solution et provoque une augmentation de l'acide hypochloreux et du chlore gazeux. L'hypochlorite de sodium devient alors inefficace sur la dissolution des tissus organiques (32, 40) et voit son efficacité anti-microbienne diminuée (32).

Il est donc important d'utiliser ces deux solutions de façon séparée.

Dans un premier temps les canaux sont irrigués avec une solution d'hypochlorite de sodium puis sécher à l'aide d'une pointe de papier stérile afin de passer à l'utilisation de l'EDTA (32). Cela permet la conservation de l'efficacité des deux solutions et par conséquent leur action synergique.

Lorsqu'il est utilisé en complémentarité de l'hypochlorite de sodium, une érosion de la dentine se fait ainsi qu'une ouverture des tubules dentinaires. Une fois les tubules ouverts l'hypochlorite de sodium peut de nouveau pénétrer à l'intérieur et continuer de désinfecter le système canalaire (19, 39, 50, 51).

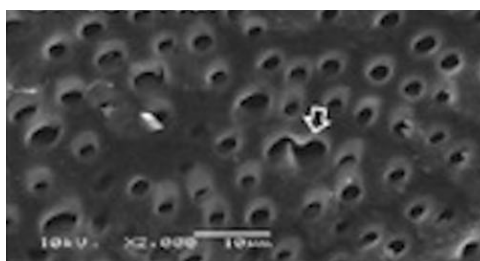


Figure 19 : Coupe microscopique de la dentine après irrigation avec une solution de NaOCl à 2,5% et d'EDTA à 17% (39)

C. Le scellement de dentine immédiat (Immediat Dentin Sealing = IDS)

La technique du scellement immédiat de la dentine (IDS) consiste à appliquer un agent de liaison de la dentine (DBA = Dentin Bonding Agent) sur celle-ci, immédiatement après une préparation coronaire, lorsqu'une importante partie de dentine est exposée (6) et avant la prise de l'empreinte (1, 52). Le scellement immédiat de la dentine se réalise donc le plus souvent sur des dents vitales et a pour objectif de sceller la dentine fraîchement coupée qui constitue le substrat idéal (53) car elle est propre, non contaminée par un quelconque ciment de scellement ou matériau à empreinte (54).

Cette technique a été proposée dans les années 1990 (1) par Pashley et appartient au concept de la dentisterie moderne avec l'optimisation de la préparation et la position de la limite cervicale.

De nos jours, cette technique a évolué et une résine composite fluide (également nommée « resin coating ») est désormais appliquée par-dessus le système adhésif (55, 56) permettant d'obtenir une qualité de scellement supérieure (57).

L'IDS permet d'obtenir une base solide et stable pour la dissipation des contraintes lors des restaurations collées (58). Cette surface dentinaire optimise la procédure de collage en permettant une pénétration plus profonde de la résine adhésive dans les tubuli dentinaires. Cela conduit à la formation de tags résineux, car les fibrilles de collagène ne sont pas collapsées et que la dentine n'est pas déshydratée (52,54)

Ainsi l'IDS permet de réaliser une pré-polymérisation du DBA avant la réalisation de l'empreinte ce qui améliore la force de liaison (6,53,54,59).

L'IDS se compose de plusieurs entités intriquées les unes aux autres.



1. La couche hybride

Celle-ci se compose de l'entrelacement du primer et des fibres de collagène.

Elle correspond à l'imprégnation d'une résine de collage au sein de la dentine. Elle est essentielle à l'obtention d'une surface adhérente et étanche qui isole le complexe pulpo-dentinaire des agressions.

La couche hybride obtenue lors de l'utilisation d'un système adhésif auto-mordant est plus fine que celle obtenue avec un adhésif avec mordantage préalable. Ceci est due à la plus faible acidité de leurs monomères engendrant un moindre effet sur la dentine (13).

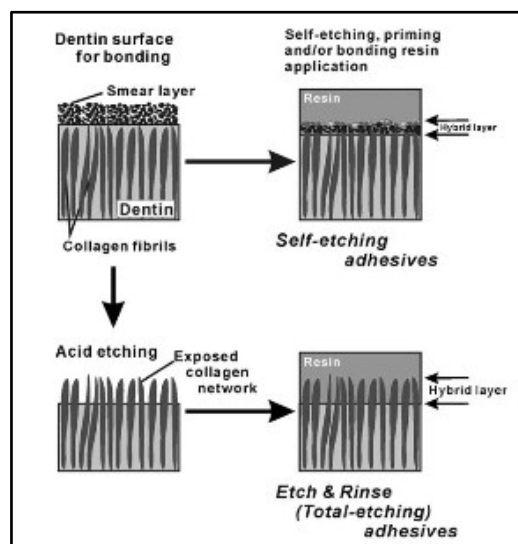


Figure 20 : Schéma de la structure de la couche hybride obtenue avec un SAM et un M&R (13):

d. Le primer

Le primer est une molécule amphiphile. Il est à la fois hydrophile, ce qui lui permet de se lier au collagène présent dans les tubuli dentinaires remplis d'eau, et hydrophobe, ce qui la relie aux monomères de la résine adhésive.

Le primer a pour objectifs de maintenir poreux le réseau de collagène, ou permettre sa ré-expansion s'il a été trop déshydraté lors de la phase de mordantage, et d'augmenter la mouillabilité de la dentine déminéralisée afin qu'elle puisse être infiltrée par un monomère hydrophile. La mouillabilité est un critère majeur dans le processus d'adhésion.

Il est véhiculé par un solvant qui peut être de l'eau, de l'alcool ou de l'acétone. Les travaux de T. Jacobson et K-J. Söderholm ont montré que si le solvant utilisé est de l'acétone couplé à de l'Hydroxy Ethyl Méthacrylate (HEMA) alors la force de liaison à la dentine est plus élevée que si de l'eau est utilisée comme solvant (60).

Le solvant va chasser l'eau restante au sein des tubuli dentinaires, limitant ainsi les lacunes lors de la polymérisation, et s'infiltrer entre les fibrilles de collagène pour se substituer peu à peu aux molécules d'eau et venir saturer le réseau collagénique avec les molécules d'HEMA.

Une fois le réseau collagénique imprégné par le primer les fibres de collagènes se rigidifient et ne peuvent plus se collapser. Cela permet dans un second temps à la résine adhésive de venir diffuser dans les tubuli dentinaires et d'imprégner la totalité de la zone dentinaire déminéralisée formant alors les tags résineux.

L'HEMA est le principal monomère utilisé car il est le seul à être totalement soluble dans l'eau. C'est ce phénomène qui crée la couche hybride. On le retrouve notamment dans le All Bond Universal®, l'OptiBond FL® et le Clearfil SE® Bond.

e. La résine adhésive

La résine adhésive est composée de molécules hydrophobes qui vont co-polymériser avec la partie hydrophobe du primer et la résine composite. Elle vient créer une interface adhérente et étanche entre la restauration en composite et la dentine.

Cela permet ainsi la protection pulpaire (52) d'une contamination bactérienne au cours de la phase de temporisation (61), limite les sensibilités post-opératoire (57, 61, 62) durant la phase provisoire (1) et conduit à une meilleure adaptation marginale de la restauration indirecte ultérieure (61–63).

En effet à l'état naturel, la dentine est protégée et isolée du milieu buccal par l'émail et le cément qui sont des tissus non innervés et totalement imperméables.

Lors d'une préparation corono-périphérique ou partielle la couche d'émail est retirée, la dentine se retrouve à nu et les tubuli qu'elle contient sont exposés. De ce fait dès lors que la dentine se trouve exposée la perméabilité et la sensibilité pulpaire sont augmentées (théorie de l'hydrodynamique des fluides).

Ainsi la mise en place d'une résine adhésive polymérisée crée un joint étanche au niveau de cette dentine fraîchement coupée et ces inconvénients sont limités voire éliminés.

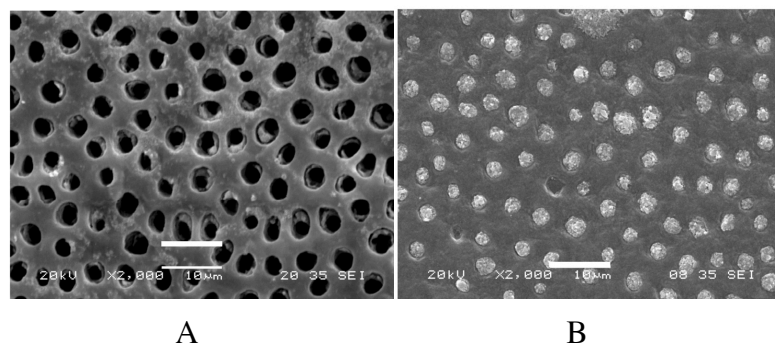


Figure 21 : Photos de coupes transversales obtenues au MEB. A : surface dentinaire après préparation à la fraise et mordançage. B : surface dentinaire après application d'un système adhésif (64).

f. La résine composite

La couche de résine composite fluide mise en place à la suite du protocole d'IDS permet l'isolement de la couche hybride sous-jacente, la préservation et la stabilité de l'IDS et augmente considérablement les forces de liaisons de la restauration permanente (1,51,58,59,65). Elle permet également une modification de la géométrie de la cavité en comblant les légères contre-dépouilles et de masquer des zones pigmentées ou saturées dues à d'anciennes restaurations à l'amalgame par exemple. Cela facilite l'enregistrement de la préparation par une technique d'empreinte physique ou optique et la rend plus lisible pour le technicien de laboratoire (58).

Les valeurs d'adhésion sont dues à la polymérisation de la résine adhésive, en effet, lors de l'IDS une première couche de résine adhésive est polymérisée (6). De plus cette polymérisation étant réalisée avant l'empreinte cela permet d'éviter un problème de surépaisseur au moment de la mise en place de la pièce prothétique.

Outre les avantages de l'IDS lors de la phase de temporisation, cette technique a également un avantage le jour de la pose de la couronne définitive.

Lors du collage de la pièce prothétique, la procédure de collage sur la dentine a été réalisée au moment de l'IDS, et le praticien peut alors se concentrer plus spécifiquement sur le collage au niveau de l'émail (53,66).

La dentine étant protégée, le patient ne présente pas de sensibilité et une anesthésie n'est pas nécessaire (46), ce qui permet un réglage de l'occlusion plus aisé et précis.

Enfin lorsque l'IDS est réalisée avant la phase de temporisation, elle permet lors du scellement d'une coiffe à l'aide d'un ciment verre ionomère (CVI) d'améliorer le phénomène d'adhérence. De cette façon elle peut être utile dans l'amélioration de la rétention face à des couronnes cliniques courtes ou des préparations excessivement coniques.

L'élément phare de l'IDS est le développement d'une liaison efficace entre les résines adhésives mises en place au moment de l'IDS et lors de la pose de la pièce prothétique (51).

Les systèmes adhésifs référencés comme étant le gold standard pour la procédure d'hybridation (IDS) sont des M&R 3 (système adhésif mordantage et rinçage en 3 étapes, plus principalement l'Optibond FL[®]) ou des SAM 2 (systèmes adhésifs auto-mordançant en 2 étapes, notamment le Clearfil SE[®] Bond) (58).

Ce sont ces systèmes adhésifs, plus anciens, qui montrent une meilleure performance en terme de force de liaison, de vieillissement et de stabilité de l'interface adhésive (51). Des études montrent que l'Optibond FL[®] augmente plus fortement la force de liaison que le Clearfil SE[®] (62).

Un des inconvénients relatif de l'IDS est qu'il persiste une couche non polymérisée de résine qui interfère avec le matériau à empreinte et notamment l'Imprégum[®] (1). En effet l'empreinte est réalisée une fois l'IDS faite et le matériau à empreinte peut venir interagir avec la couche non polymérisée de résine en raison de l'inhibition par l'oxygène. Afin de palier à ce problème, différentes techniques, sans supériorité l'une par rapport à l'autre, ont été proposées. La couche adhésive, formée par la résine adhésive plus ou moins recouverte de résine composite fluide, est recouverte d'une couche de glycérine avant la polymérisation afin d'éviter la formation d'une couche inhibée par l'oxygène et non totalement polymérisée (57) ou bien un coton imbibé d'alcool est passé sur la surface traitée pour éliminer les excédents de résine non polymérisée (1).

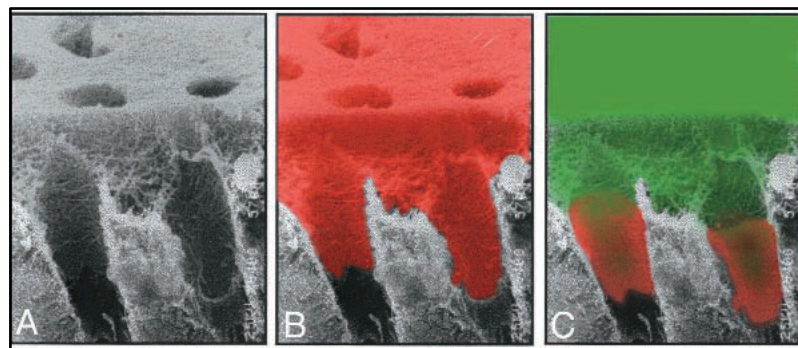
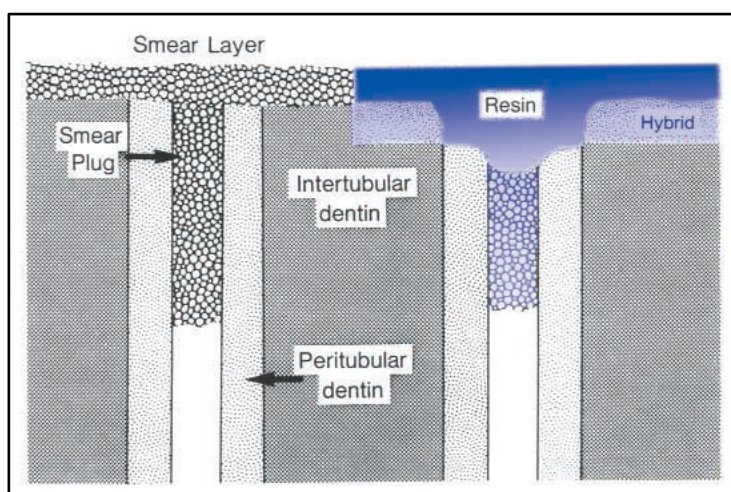


Figure 22 : Visualisation au MEB lors de la mise en place d'un système adhésif (M&R) (14)

2. Protocole théorique de l'IDS :

Le protocole de collage se fait classiquement en 3 étapes lorsque des systèmes adhésifs M&R 3 sont utilisés (6, 67).

- 1- Application **d'acide ortho-phosphorique** à 37% qui va nettoyer et élargir les tubuli dentinaires et déminéraliser légèrement la surface dentinaire ne laissant que la partie organique (fibres de collagène) ainsi que créer des pores à la surface de l'émail.
- 2- Application du **primer** qui est une molécule amphiphile avec un pôle hydrophile se liant à la dentine (humide) et un pôle hydrophobe se liant à la résine adhésive.
- 3- Application de la **résine adhésive** qui fait le lien entre le primer et la couche de résine composite.



***Figure 23 :** Schéma de la réaction de la boue dentinaire et des tags résineux lors de l'application d'un primer (14)*

Maintenant que les bases ont été énoncées et qu'il paraît clair :

- Qu'une restauration coronaire étanche et pérenne est nécessaire à la suite d'un traitement endodontique
- Mais que la dentine est un substrat humide compliquant la réalisation du protocole d'adhésion
- Que l'hypochlorite de sodium associé à l'EDTA sont les solutions d'irrigation les plus efficaces
- Mais qu'elles viennent ouvrir les entrées tubulaires et dénaturer le collagène contenu
- Cependant le collagène est un élément indispensable à l'obtention d'une surface adhésive étanche au niveau de la dentine lors du scellement immédiat de la dentine
- Et enfin que l'IDS augmente les valeurs d'adhésion

Nous allons exposer le protocole imaginé afin de pallier les inconvénients de l'irrigation en utilisant les avantages du scellement immédiat de la dentine.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODE :

A. Population

1. Type d'étude :

L'objectif de cette étude est de montrer si la protection des tubuli dentinaires et plus particulièrement celle du collagène qu'ils contiennent, a un impact sur le collage lors d'une restauration adhésive à la suite d'un traitement endodontique.

Le protocole expérimental proposé permet la réalisation dans un second temps d'une étude unicentrique interventionnelle.

2. Critère de sélection

a. Critères d'inclusion :

Les dents sélectionnées pour l'étude doivent répondre à des critères d'inclusion stricts afin de limiter le nombre de biais.

Les dents incluses dans l'étude sont :

- Incisives, canines, prémolaires ou molaires permanentes, à l'exception des dents de sagesse, maxillaires et mandibulaires.
- Dents saines au niveau coronaire et radiculaire sans atteinte carieuse ni ancienne restauration (directes ou indirectes)
- Absence de pathologie pulpaire initiale
- Extraites pour des raisons orthodontiques ou parodontales.

Afin de limiter au plus les biais, les dents utilisées au moment de la réalisation de l'étude sont des paires de dents provenant d'un même patient (premières prémolaires maxillaires droite et gauche par exemple).

b. Critères d'exclusion :

En accord avec les critères d'inclusion, les dents répondant aux critères suivants ont directement été exclues du protocole.

- Dents temporaires
- Dents ayant reçu un traitement endodontique
- Dents avec un nombre de parois coronaires inférieur à 4
- Dents précédemment restaurées (directe ou indirecte)
- Dents présentant des signes d'inflammation pulpaire ou une atteinte carieuse

3. Taille de l'échantillon :

Le calcul du nombre de sujets nécessaires à inclure est une étape fondamentale car il va déterminer la puissance de l'étude. Il se fait sur la base d'une hypothèse. Il constitue souvent un biais majeur dans de nombreuses études.

Dans notre étude le calcul de la taille de l'échantillon se base sur :

- Les valeurs actuelles moyennes d'adhésion à la dentine (soit environ 15MPa)
- La différence de valeur d'adhésion à la dentine estimée comme cliniquement significative (obtention d'une valeur d'adhésion estimée à 25 MPa pour être acceptable).
- La détermination du risque α (risque de première espèce = risque de mettre en évidence une différence qui n'existe pas) idéalement fixé à 5%.
- La détermination de la puissance ($P = 1 - \beta$) avec β qui représente le risque de deuxième espèce (= risque de ne pas mettre en évidence une différence qui existe). La puissance est classiquement fixée à 90% (chance de mettre en évidence cette efficacité).

Pour obtenir une étude in vitro suffisamment puissante, 36 dents doivent être incluses avec 18 dents dans chaque groupe. Ces dents doivent avoir des coupes de section d'épaisseur identiques afin de limiter au plus les biais.

Afin d'anticiper de possibles fractures au niveau des slices qui seront réalisées, nous doublons la taille de l'échantillon au moment de l'inclusion du nombre de dents nécessaires. Au total, 72 dents sont donc à récolter.

4. Biais :

Dans un article de Bohrer (5) tous les biais présents dans les différentes études répertoriées pour ce sujet ont été relevés.

Une des conclusions de cet article est que 70,7% des études ont un risque de biais élevé, 28,3% ont un risque de biais moyen et seulement 1% a un risque de biais faible.

L'analyse du risque de biais est basée sur les critères suivants :

- La randomisation des dents pour les différents groupes expérimentaux
- Le calcul de la taille de l'échantillon
- La coupe de section d'épaisseur identique
- L'évaluation du mode de fracture
- Les matériaux utilisés conformément aux instructions du fabricant
- Les procédures d'adhésion, les tests effectuées par un seul opérateur
- Les échantillons testés par un opérateur en aveugle.

Lorsque les études répondent aux critères d'évaluation requis un « Y » (pour oui) est mis face au critère et si elles n'y répondent pas un « N » (pour non) est inscrit. Le risque de biais est alors classé en 3 catégories en calculant la somme des « Y » :

- Risque élevé (1 à 3)
- Risque moyen (4 ou 5)
- Risque faible (6 ou 7)

Les biais les plus souvent relevés dans les études sont, l'absence du calcul de la taille de l'échantillon, la réalisation des protocoles par un seul opérateur et le manque d'un opérateur à l'aveugle au moment des tests (*critères encadrés en rouge sur le tableau 4*).

Study	Randomization	Sample size calculation	Specimen with similar cross section	Failure mode evaluation	Manufacturer's instructions	Single operator	Operator blinded	Risk of bias
Adebayo et al 2007 ²	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Adebayo et al 2008 ¹	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Alici et al 2018 ³	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Arias et al 2005 ⁵	Y	N	Y	N	N	N	N	high
Arslan et al 2011 ⁶	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Augusto et al 2018 ⁷	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	medium
Barbosa et al 2005 ⁸	Y	N	Y	N	N	N	N	high
Barutçigil et al 2012 ⁹	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Baseggio et al 2009 ¹⁰	Y	N	Y	N	N	N	N	high
Benderli and Yucel 1999 ¹³	N	N	Y	N	N	N	N	high
Blomlöf et al 2001 ¹⁴	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Carvalho et al 2017 ¹⁵	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	medium
Cecchin et al 2010 ¹⁶	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Cecchin et al 2011 ¹⁷	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Cederlund et al 2001 ¹⁹	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Cederlund et al 2002 ¹⁸	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Cha, Shin 2016 ²⁰	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Chauhan et al 2015 ²¹	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Chaves et al 2002 ²²	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Coli et al 1999 ²³	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Correr et al 2004 ²⁵	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Di Francescantonio et al 2015 ²⁶	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Dikmen et al 2015 ²⁸	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Dikmen et al 2018 ²⁷	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
dos Santos et al 2005 ²⁹	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Ekambaram et al 2017 ³¹	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Elkassas et al 2014 ³²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Ercan et al 2009 ³³	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Erhardt et al 2008 ³⁵	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Erhardt et al 2008 A ³⁴	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Farina et al 2011 ³⁶	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Fawzi et al 2010 ³⁷	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Fawzy et al 2008 ³⁸	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Gonçalves et al 2009 ⁴⁰	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Gwinnett 1994 ⁴¹	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Gönülol et al 2015 ⁴²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Harleen et al 2011 ⁴³	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Hasija et al 2017 ⁴⁴	N	N	Y	N	N	N	N	high
Hayakawa and Horie 1992 ⁴⁵	N	N	Y	N	N	N	N	high
Ibrahim et al 2010 ⁴⁷	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Inai et al 1998 ⁴⁸	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Kanca and Sandrik 1998 ⁵⁰	Y	N	Y	N	N	N	N	high
Kim et al 2017 ⁵²	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Kunawarote et al 2010 ⁵⁴	Y	N	Y	Y	Y	N	N	high
Kunawarote et al 2011 ⁵³	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Kusunoki et al 2010 ⁵⁵	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Lai et al 2001 ⁵⁶	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Machnick et al 2003 ⁵⁹	Y	N	Y	Y	Y	N	N	high
Martini et al 2017 ⁶⁰	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	medium
Martini et al 2017 A ⁶⁰	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	medium
Mokhtari et al 2017 ⁶²	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Monjarás-Ávila et al 2017 ⁶³	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Montagner et al 2015 ⁶⁵	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	medium
Montagner et al 2015 A ⁶⁴	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	low
Muratovska et al 2018 ⁶⁶	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Nakatani et al 2017 ⁶⁷	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Nassif, El-Korashy 2009 ⁶⁸	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Osorio et al 2005 ⁶⁹	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Osorio et al 2010 ⁷⁰	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Phrukkanon et al 2000 ⁷¹	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Pimenta et al 2004 ⁷²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Pioch et al 1999 ⁷³	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Prasansuttiporn et al 2012 ⁷⁶	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Prasansuttiporn et al 2011 ⁷⁵	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Prati et al 1999 ⁷⁷	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Pucci et al 2016 ⁷⁸	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Puspitasari et al 2017 ⁷⁹	N	N	Y	N	Y	N	N	high

Table 2 (cont'd)								
Reddy et al 2013 ⁸⁰	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Saber and El-Askary 2009 ⁸¹	N	N	Y	N	Y	N	N	high
Saboia et al 2008 ⁸²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Sacramento et al 2011 ⁸³	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Saraceni et al 2013 ⁸⁵	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Sato et al 2005 ⁸⁶	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Sauro et al 2009 ⁸⁷	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Say et al 2004 ⁸⁸	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Say et al 2004 A ⁸⁸	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Sebold et al 2017 ⁹¹	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Shafiei et al 2016 ⁹²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Sharafeddin et al 2017 ⁹³	Y	N	Y	N	Y	N	N	high
Silva et al 2009 ⁹⁵	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Silva et al 2015 ⁹⁴	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Singh et al 2015 ⁹⁷	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Siqueira et al 2018 ⁹⁸	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Spazzin et al 2009 ¹⁰⁰	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Taniguchi et al 2009 ¹⁰¹	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Tekçe et al 2016 ¹⁰²	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Toledano et al 2007 ¹⁰⁶	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Toledano et al 2012 ¹⁰⁴	Y	N	Y	Y	N	N	N	high
Toledano et al 2015 ¹⁰³	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Toledano et al 2017 ¹⁰⁵	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Torii et al 2003 ¹⁰⁷	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Uceda-Gómez et al 2003 ¹⁰⁸	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Uno, Finger 1995 ¹⁰⁹	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Vongphan et al 2005 ¹¹⁰	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Wahl et al 2002 ¹¹¹	N	N	Y	Y	Y	N	N	high
Yamazaki et al 2008 ¹¹²	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium
Yiu et al 2002 ¹¹³	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Yurdagüven et al 2009 ¹¹⁴	N	N	Y	Y	N	N	N	high
Zhou et al 2015 ¹¹⁵	Y	N	Y	Y	Y	N	N	medium

If the authors reported the parameter, the paper had a Y (yes) on that specific parameter; if it was not possible to find the information, the paper received an N (no).

Tableau 4 : Risques de biais relevés dans les différentes études selon l'article de Bohrer (5)

D'autres biais peuvent également être rencontrés et sont liés :

- Au milieu et au temps de conservation (68)
- A la vitesse de coupe lors de la réalisation des slices
- Au diamètre des disques de coupe
- A l'aspect des surfaces des coupes

Dans l'étude de Magne (6) des biais ont été relevés au sein du protocole proposé :

- Absence de calcul de la taille de l'échantillon
- Solution de conservation avec une influence sur la dentine (utilisation du thymol)
- Absence d'indication sur le temps de conservation avant de débiter l'étude
- Absence de randomisation des dents
- Absence d'information sur le nombre d'opérateur et son expérience

L'objectif du protocole expérimental proposé par la suite est de diminuer au maximum le nombre de biais présents dans ce protocole.

B. Méthodologie :

La réalisation d'un test de micro-traction permet de réaliser au sein d'une dent un nombre de coupes élevé. Les coupes sont effectuées tous les 0,9 mm de mésial en distal puis de 0,9 mm de vestibulaire en lingual ou palatin.

Les coupes sont obtenues après élimination de l'épaisseur d'émail proximal, vestibulaire et lingual de chacune des dents à tester. Le tableau 4 nous donne le nombre maximal de coupes que l'on peut obtenir pour chacun des différents types de dents. Le nombre de coupes par dent est donc à diviser par deux pour s'approcher au plus des valeurs que nous obtiendrons avec ce protocole.

		Dimensions mésio-distale	Dimensions vestibulo-linguale	Nombre de coupes obtenues avec l'émail	Nombre de coupes obtenues sans l'émail
Incisives	Maxillaires	8,5 mm	7 mm	54	27
	Mandibulaires	5,5 mm	6 mm	36	18
Canines		7,5 mm	7,5 mm	64	32
Prémolaires	Maxillaires	7 mm	9 mm	70	35
	Mandibulaires	7 mm	8 mm	56	28
Molaires	Maxillaires	10 mm	11 mm	132	66
	Mandibulaires	10,5 mm	10,5 mm	121	60

Tableau 5 : Nombres de coupes que l'on peut obtenir sans élimination de l'émail

1. Désinfection :

Avant d'être conservées, les dents extraites devront être nettoyées et désinfectées. Tous les tissus de granulation et autres débris persistants au niveau des racines de celles-ci, seront retirés à l'aide d'un détartreur (ultrasonique ou manuel). Par la suite les dents seront rincées à l'eau et déposées dans des pots de sérum physiologique fermés.

2. Conservation :

La conservation des dents se fait à deux moments distincts. Lors de la récolte des dents extraites et une fois les protocoles cliniques réalisés.

Lors de la phase de récolte par les praticiens, les dents extraites devront être conservées dans plusieurs pots fermés, remplis de sérum physiologique durant 2 mois maximum, dans une pièce à température ambiante.

Il est important pour l'étude que le milieu de conservation n'ait pas d'impact sur la dentine ainsi que sur le collagène. L'émail est plus touché par le milieu de conservation que la dentine.

Aydin et son équipe ont montré dans leur étude que le sérum physiologique est la solution qui a le moins d'impact sur les structures dentaires (68).

De plus selon les mêmes auteurs il n'y a aucun impact du milieu de conservation quel qu'il soit jusqu'à 2 mois de conservation. Aucun liquide de conservation n'est rajouté tout au long de la conservation (voir tableau 6).

Une fois les protocoles d'IDS (pour le groupe test), d'irrigation, de collage et de restauration, réalisés, les dents sont conservées pendant 24 heures dans de l'eau distillée dans une pièce à 37°C avant d'être préparées pour le test de micro-traction et l'analyse au microscope électronique à balayage (MEB).

Un protocole simple et reproductible de désinfection et de conservation des dents nécessaires à l'étude a été mis en place. Ce protocole est à remettre aux praticiens qui récoltent ces dents.

Protocole de désinfection et de conservation

Dents à conserver :

- Tous les couples de dents permanentes **sauf** les troisièmes molaires
- Dents saines, sans atteinte coronaire (**pas de pathologies** carieuses, ni d'anciennes restaurations directes ou indirectes, ni fractures coronaires)
- Dents sans atteinte pulpaire
- Dents extraites pour des raisons **orthodontiques ou parodontales**

Protocole de désinfection :

- Élimination des tissus de granulation et débris résiduels appendus aux dents extraites
- Rinçage à l'eau

Protocole de conservation :

- Pot fermé
- Rempli d'une solution de sérum physiologique immergeant totalement l'ensemble des dents
- Sans renouvellement de la solution tout au long de la conservation
- Dans un environnement à température ambiante

Les pots seront récupérés tous les mois et traités tous les mois afin d'éviter l'altération des structures.

Tableau 6 : Protocole de désinfection et conservation des dents remis aux praticiens pour la récolte des dents :

3. Protocoles de l'étude :

a. Protocole expérimental

Dans le groupe témoin le protocole d'irrigation endodontique est effectué avant de réaliser la restauration à l'aide d'une résine composite.

Dans le groupe test le protocole de scellement immédiat de la dentine (IDS) est réalisé avant de procéder au protocole d'irrigation endodontique et de la mise en place de la résine composite.

Une fois le protocole terminé et les coupes à analyser prêtes, un test de micro-traction est réalisé pour les deux groupes afin de mesurer la résistance à la traction. Lorsque la limite de résistance est atteinte une fracture se produit. Ainsi une analyse au microscope électronique à balayage est effectuée afin de déterminer le type de fracture qu'il s'est produit au sein de chacune des différentes coupes.

RÉSUMÉ DES ÉTAPES PRINCIPALES DE L'ÉTUDE :

1. Préparation des dents : Élimination de l'émail occlusal et proximal
2. Séparation des paires pour groupe contrôle et groupe test.

Groupe contrôle	Groupe test
3. Réalisation de l'irrigation canalaire	3. Réalisation de l'hybridation immédiate (IDS)
4. Réalisation de l'adhésion (idem IDS)	4. Réalisation de l'irrigation canalaire
5. Réalisation de la restauration occlusale	6. Réalisation de l'adhésion
	7. Réalisation de la restauration occlusale

8. Préparation des slices pour le test de micro-traction
9. Test de micro-traction
10. Préparation des slices pour analyse au MEB
11. Analyse au MEB

Tableau 7 : Résumé des étapes principales de l'étude :

b. Protocole type de l'irrigation :

Les solutions utilisées lors de la phase d'irrigation endodontique ont été décrites dans la première partie.

Dans cette étude le traitement canalaire n'est pas réalisé mais le protocole d'irrigation est cependant mis en place à l'aide de bains de trempage successifs. Ces bains suivent le protocole standard de l'irrigation intra-canalaire décrite par le Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice.

Ainsi un trempage dans une solution d'hypochlorite de sodium de 2 millilitres, par sur une durée de 30 minutes, ainsi qu'un rinçage final par trois bains de trempage successifs avec de l'hypochlorite de sodium et de l'EDTA sont réalisés.

<u>Protocole d'irrigation intra-canalaire (fiche CNEOC)⁴</u>
<p>1. <u>Irrigation per-opératoire :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Irriguer les canaux avec 1 à 2 millilitres d'hypochlorite de sodium entre chaque utilisation d'instrument <p>2. <u>Irrigation finale :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Irriguer avec 2 millilitres d'hypochlorite de sodium et activer la solution pendant 1 minute• Sécher le canal à l'aide de pointes de papiers stériles• Irriguer avec 1 millilitre d'EDTA pendant 2 minutes• Sécher les canaux avec des pointes de papier stériles• Irriguer avec 1 millilitre d'hypochlorite de sodium de façon passive

Tableau 8 : Protocole d'irrigation endodontique

⁴ <https://odonto.univ-lorraine.fr/content/fiches-cfore>

c. Protocole de l'IDS

La réalisation du scellement immédiat de la dentine se fait toujours sous un champ opératoire étanche afin d'éviter la présence de salive.

Dans ce protocole la présence d'un champ opératoire est inutile car l'étude est réalisée en milieu extra-oral en absence de salive et humidité. Afin d'éviter les biais lors de l'étude, le protocole d'IDS doit être réalisé en suivant les instructions du fabricant et par un opérateur qualifié et formé auparavant (5).

Il a été démontré que les systèmes adhésifs Optibond FL[®] (M&R3) et Clearfil SE[®] (SAM2) sont les plus utilisés et fiables dans les études cliniques antérieures. Dans cette étude, le système adhésif utilisé est un M&R3 ou un SAM2 (6, 69, 70).

Hybridation immédiate selon la description du Dr MAGNE (6, 67) :

Dans son protocole le Dr Magne utilise un système adhésif de type M&R3, pour rester cohérents nous avons également choisi d'utiliser un M&R3 (Optibond FL[®]). Celui-ci est le plus référencé actuellement et présente les valeurs d'adhésion les plus élevées avoisinant les 15 MPa au niveau de la dentine (71).

De plus ce système adhésif est compatible avec des résines composites à prise photo-polymérisable.

- 1- Réalisation du mordantage total à l'acide ortho-phosphorique à 37,5% pendant 15 secondes sur la dentine
- 2- Rinçage à l'eau pendant 15 secondes
- 3- Séchage délicat pendant 5 secondes.
- 4- Application d'un primer à l'aide de micro-brush en frottant les parois délicatement pendant 15 secondes
- 5- Évaporation du solvant restant par un séchage délicat pendant 5 secondes
- 6- Application d'une épaisse couche de résine adhésive à l'aide de micro-brush pendant 15 secondes. Les surplus de monomère sont éliminés à l'aide d'un spray à air par un séchage de 3 secondes. La couche adhésive est polymérisée pendant 20 secondes
- 7- Protection par une couche de résine composite fluide (G-aenial® Universal Flo) polymérisée pendant 20 secondes (72)
- 8- Application de glycérine et polymérisation finale pendant 10 secondes.

Optibond FL® (MR3)(70)	Clearfil SE® (SAM2)(69)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mordantage : acide phosphorique 37,5 % pendant 15 secondes sur la dentine 2. Rinçage à l'eau pendant 15 secondes 3. Séchage délicat pendant 5 secondes 4. Primer avec micro-brush frotter contre les parois pendant 15 secondes 5. Évaporation du solvant (séchage) pendant 5 secondes 6. Résine adhésive avec micro-brush 7. Polymérisation 20 secondes (<u>Lampe</u> : high intensity 1200 mW/cm²) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Primer avec micro-brush pendant 20 secondes 2. Évaporation solvant (séchage délicat) 3. Résine adhésive avec micro-brush 4. Polymérisation pendant 10 secondes (<u>Lampe</u> : high intensity, 1200 mW/cm²)

***Tableau 9 : Instructions des fabricants des systèmes adhésifs MR3
(Optibond FL®) et SAM2 (Clearfil SE®)***

d. Collage

Une fois le protocole d'irrigation endodontique terminé un composite est mis en place dans la cavité d'accès après réalisation d'un protocole de collage afin d'obtenir une étanchéité et une rétention optimales.

Comme le scellement immédiat de la dentine, le protocole de collage doit se faire sous un champ opératoire étanche. Cette étude est réalisée in-vitro, il n'y a donc pas de nécessité à mettre un champ opératoire la dent se trouvant déjà isolée du milieu buccal et de toute contamination.

Le protocole de collage est différent selon les groupes témoin et test. En effet sur le groupe test une hybridation de la dentine est réalisée ce qui ne nécessite pas une ré-imprégnation des tubuli par le primer.

Protocole d'adhésion : Optibond FL®
<ol style="list-style-type: none">1. Réalisation du mordantage total à l'acide ortho-phosphorique à 37,5% pendant 15 secondes sur la dentine2. Rinçage à l'eau pendant 15 secondes3. Séchage délicat pendant 5 secondes.4. Application d'un primer à l'aide de micro-brush en frottant les parois délicatement pendant 15 secondes5. Évaporation du solvant restant par un séchage délicat pendant 5 secondes6. Application d'une épaisse couche de résine adhésive à l'aide de micro-brush pendant 15 secondes. Les surplus de monomère sont éliminés à l'aide d'un spray à air par un séchage de 3 secondes. La couche adhésive est polymérisée pendant 20 secondes.

Tableau 10 : Protocole d'adhésion lorsqu'il n'y a pas de scellement dentinaire immédiat : Optibond FL® (70)

Lorsque l'IDS est déjà réalisée l'étape de mordantage à l'acide ortho-phosphorique n'est utilisée que pour décontaminer la surface du composite.

En revanche dans une situation in vivo il faut réaliser un micro-sablage aux particules d'alumine à 50 microns, qui permet d'obtenir une surface propre et rugueuse. Effectivement l'IDS est parfois réalisé dans un milieu humide (dents nécrosées) ou en présence de sang (pulpite irréversible ou non) et peut supporter un ciment provisoire (31) .

Protocole d'adhésion après IDS préalable : Optibond FL®

1. Réalisation du mordantage total à l'acide ortho-phosphorique à 37,5% pendant 15 secondes sur la couche de résine composite fluide (rôle de nettoyant)
2. Rinçage à l'eau pendant 15 secondes
3. Séchage délicat pendant 5 secondes.
4. Application d'une épaisse couche de résine adhésive à l'aide de micro-brush pendant 15 secondes. Les surplus de monomère sont éliminés à l'aide d'un spray à air par un séchage de 3 secondes. La couche adhésive est polymérisée pendant 20 secondes

**Tableau 11 : Protocole d'adhésion après scellement dentinaire immédiat :
Optibond FL®**

Une fois la procédure de collage réalisée, la restauration peut être réalisée.

Une matrice circonférentielle est positionnée autour de chacune des dents préparées. Une résine composite fluide (G-aenial® Universal Flo) est injectée sur une épaisseur d'un millimètre avant d'être polymérisée (20 secondes, 1200mW/cm²). L'opération est répétée cinq fois jusqu'à obtenir une hauteur de 5 millimètres de résine composite.

C. Préparation des coupes à analyser

1. Réalisation des slices :

Dans son article, Sano précise que lors de la réalisation d'un test de traction la surface à analyser doit être la plus petite possible (73). Cela permet d'évaluer la résistance à la traction sur une zone de dentine pertinente (dentine superficielle, profonde, cariée, saine... pour une même dent (73, 74)).

En effet sur une surface moins étendue la distribution des contraintes est améliorée et les défauts au niveau des substrats (dentine, composite ou interface adhésive) sont diminués ce qui réduit la propagation des fissures au sein du matériau et augmente alors la résistance à la traction (74). De plus, selon la théorie des défauts de Griffith (1920), la résistance à la traction d'un matériau diminue avec l'augmentation de la taille de l'échantillon.

Afin de préparer les échantillons à tester, de section identique, un protocole doit être appliqué. Pour la réalisation de ces échantillons nous nous baserons sur les protocoles décrit par Sano en 1994 (73), Tay en 2000 (74) et Pashley en 1999 (75)

Sano façonne les échantillons afin de leur donner une forme de sablier, ce qui améliorerait la distribution des contraintes, à l'inverse Tay conserve ses échantillons de section rectangulaire, ce qui augmenterait l'apparition de fractures cohésives. Cependant Phrukkanon a montré qu'il n'existe aucune différence que la section de coupe soit rectangulaire ou cylindrique (76).

Protocole de réalisation des coupes à tester

1. Élimination de l'émail occlusal par une coupe horizontale, perpendiculaire au grand axe de la dent, au niveau de la jonction entre le 1/3 occlusal et le 1/3 à l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse sous irrigation puis polissage avec du papier en carbure de silicium (granulométrie : 600) => la surface doit être bien aplanie.
2. Élimination de l'émail mésial, distal, vestibulaire et palatin ou lingual par une coupe verticale, parallèle au grand axe de la dent, à l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse sous irrigation puis polissage avec du papier en carbure de silicium (granulométrie : 600) => la surface doit être bien aplanie.
3. Réalisation du protocole de l'étude et conservation pendant 24h dans de l'eau distillée dans un milieu à température = 37°C.
4. Les dents sont stabilisées à l'aide de cire collante à la surface d'un bloc sécable en plexiglas avant d'être coupées pour être analysées.
5. Coupes verticales, parallèle au grand axe de la dent, de mésial en distal tous les 0,9 mm (comprenant la restauration et la dentine) l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse.
6. Les slices obtenus sont stabilisés à l'aide de cire collante à la surface d'un bloc sécable en plexiglas.
7. Coupe verticale, parallèle au grand axe de la dent, de vestibulaire à lingual tous les 0,9mm, afin d'obtenir des surfaces (0,81 mm²) à tester les plus petites possibles, l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse

Tableau 12 : Protocole de réalisation des coupes à tester (73–75)

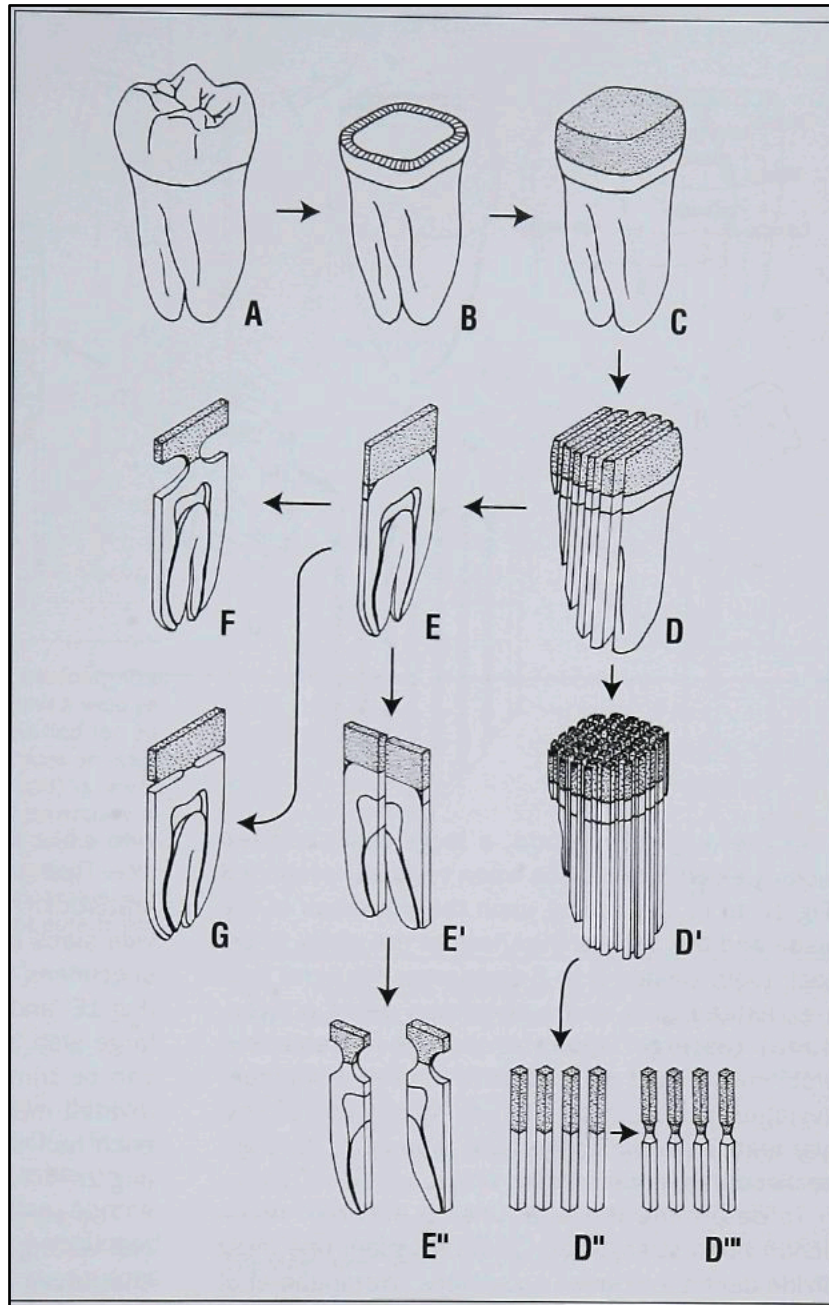


Figure 24 : *Protocole schématique de réalisation des slices (6, 75) :*

2. Réalisation des socles :

Lorsque que toutes les coupes de sections identiques ont été réalisées, elles reçoivent des coordonnées correspondant à la localisation de chacune des coupes au sein de la dent complète. Puis chacune est fixée grâce à de la cyanolite à un socle permettant la réalisation du test de traction (74)

D. Test de micro-traction (microtensile test) et analyse au microscope électronique à balayage :

1. Principe du test micro-traction :

Au commencement les tests de traction étaient utilisés pour analyser les forces de liaisons faibles (< 15 MPa) au niveau de l'interface (77). Cependant, ce test est très sensible et une simple altération du spécimen à analyser (77) ou encore l'amélioration des matériaux et des techniques qui ont augmenté les forces de liaisons, limitent la réalisation de ce test qui rend impossible l'analyse des fractures inter faciales (75).

L'atteinte de cette limite a fait naître le test de micro-traction, développé dans un premier temps sur de la dentine minéralisée (puis sur une dentine déminéralisée par de l'EDTA). Ce test de micro-traction analyse de fortes forces de liaisons sur de petites surfaces sans ruptures cohésives (45). Il permet de réaliser un grand nombre de coupes à analyser au sein d'une seule et même dent. Il est aujourd'hui le test de liaison à la dentine le plus utilisé (45).

Ce test de micro-traction utilise des coupes de section rectangulaires ou cylindriques de petites surfaces allant de 0,8 mm² à 1,2 mm² ce qui nécessite l'utilisation de machines test adaptées avec des gabarits spécifiques afin de ne soumettre ces échantillons qu'à une force de traction pure (75). L'utilisation de coupes de petites dimensions permet une augmentation des valeurs de résistance, notamment grâce à une limitation de la dissipation des contraintes.

Le recours à ce test permet de cartographier les différentes forces de liaisons que l'on peut retrouver au sein d'une même dent (profondeur et région) et ouvre de nouvelles possibilités d'études (77).

Une fois les coupes à tester reliées à l'appareil par de la cyanolite, elles sont soumises à des forces de traction de 1 millimètre par minute jusqu'à la fracture.

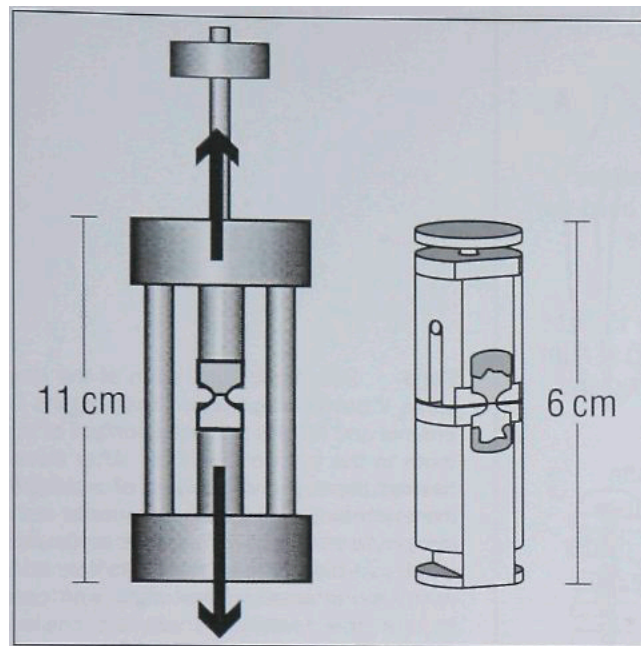


Figure 25 : Schéma des appareils de test de micro-traction (75)

2. Types de fractures :

Afin de comprendre les différents types de fractures auxquels on peut faire face lors d'un test de traction il est nécessaire de définir dans un premier temps les différentes forces que l'on retrouve au sein d'une surface adhésive. En science des matériaux, la résistance à la rupture décrit la capacité d'un matériau contenant une fissure à résister. Elle constitue l'une des propriétés les plus importantes de tout système de matériau pour de nombreuses applications de conception.

D'un côté il y a la force adhésive qui peut être considérée comme la résistance inhérente du matériau liée uniquement à la nature chimique (morphologie et structure chimique) et de l'autre la force cohésive qui correspond à l'interaction complexe entre l'adhésif et le substrat.

Cette force est affectée par la morphologie de la surface de contact (78).

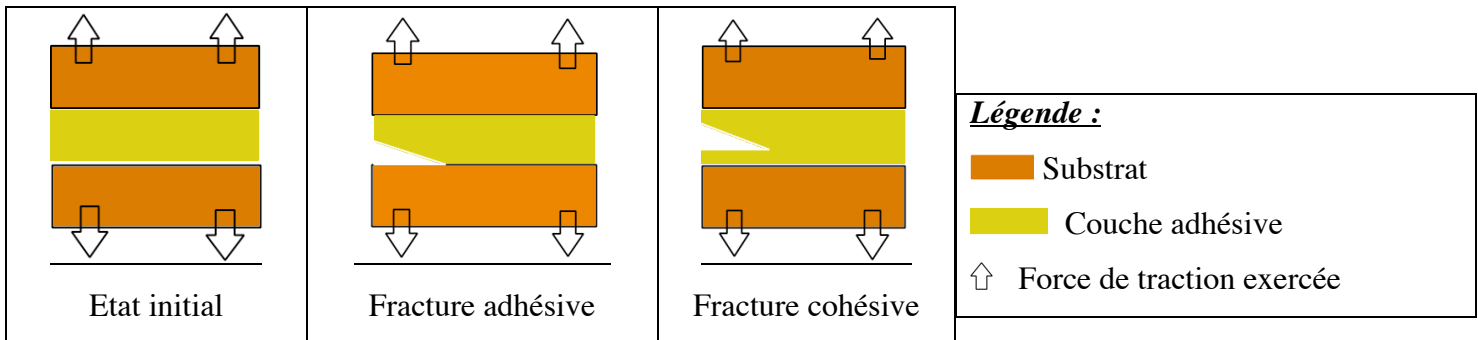
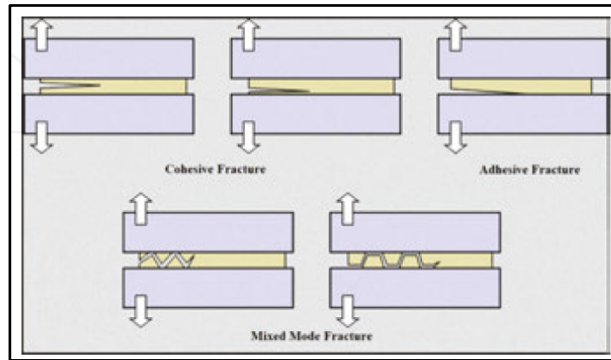


Figure 26 : Schéma des différents types de fractures (78)

a. Adhésive :

Une fracture adhésive correspond à une fracture qui se propage uniquement au niveau de l'interface entre le substrat et la couche adhésive. Ainsi la couche adhésive n'est en contact plus qu'avec une seule partie du substrat. Ce type de fracture se produit lorsque que la force cohésive est supérieure à la force adhésive.

b. Cohésive :

Une fracture cohésive correspond à une fracture qui se propage à l'intérieur du corps du matériaux, ici de la couche de résine adhésive. Cette couche reste en contact avec les deux parties du substrat. Ce type de fracture se produit lorsque la force adhésive est supérieure à la force cohésive.

c. Mixte = inter faciale :

Une fracture mixte correspond à une fracture entre la couche adhésive et le substrat. Dans ce cas, la fracture passe d'une interface à l'autre.

3. Analyse au microscope électronique à balayage (MEB) :

Une fois le test de micro-traction réalisé, les coupes sont préparées pour analyser au MEB les différents types de fractures au sein de chacune. Ces coupes sont séchées avec de l'air puis recouvertes d'une couche d'or / palladium avant d'être examinées au MEB.

Le microscope électronique à balayage (MEB) utilise un faisceau d'électrons émis par un canon à électrons. Une lentille électromagnétique focalise le faisceau d'électrons sur l'échantillon ce qui induit une interaction entre les deux entités. Des électrons secondaires de plus faible énergie sont émis, amplifiés puis détectés et convertis en signal électrique. Le faisceau balaie la surface à analyser et donne un ensemble de signaux qui permettent d'obtenir la topographie de l'échantillon ainsi qu'une image en relief⁵.

III. DISCUSSION : Limite de l'étude : les biais

Dans cette étude, malgré l'élimination du plus grand nombre de biais certains persistent.

Les dents utilisées sont saines, il n'y a donc pas de formation de dentine réactionnelle, contrairement aux dents cariées, sur lesquelles les forces d'adhésion peuvent être modifiées (inférieures) (73).

De plus les dents étant extraites elles ne sont plus vivantes (73) et nous ne serons pas exposés à la salive ni à la présence de sang au sein de la cavité d'accès ni à la gestion du protocole d'hémostase (eau oxygénée ou hypochlorite de sodium) qui peut avoir une influence sur le collagène des tubuli non encore protégé. Afin de limiter au plus les biais au sein du protocole la représentation d'un milieu buccal artificiel peut être une solution. La cavité d'accès n'est pas réalisée ainsi la localisation des coupes au sein de la dent n'est pas en regard de la chambre camérale.

Une autre limite à ce protocole est la détermination de la taille de l'échantillon qui soit pertinente car pour cela nous ne disposons pas à l'heure actuelle d'un consensus sur une valeur d'adhésion minimale requise.

⁵ <https://docplayer.fr/docview/26/8667106/#file=/storage/26/8667106/8667106.pdf>

IV. PROPOSITION DU PROTOCOLE DE L'ETUDE :

Protocole global de l'étude

1. Inclusion des paires de dents dans l'étude
2. Désinfection des dents recueillies et conservation par paires avant le début du protocole
3. Élimination de l'émail occlusal par une coupe horizontale, perpendiculaire au grand axe de la dent, à la jonction du tiers occlusal et du tiers médian à l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse sous irrigation d'eau puis polissage avec du papier en carbure de silicium (granulométrie : 600) ⇒ Vérification que la surface obtenue soit lisse et plane.
4. Élimination de l'émail proximal (mésial, distal, vestibulaire et palatin ou lingual) par des coupes verticales, parallèles au grand axe de la dent, à l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse sous irrigation puis polissage avec du papier en carbure de silicium (granulométrie : 600) ⇒ Vérification que la surface obtenue soit lisse et plane.
5. Séparation des paires de dents pour le groupe contrôle ou le groupe test.

Groupe contrôle	Groupe test
<p>6. Réalisation du protocole d'irrigation canalaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trempage dans un bain de NaOCl (3%) pendant 30 minutes - Irrigation finale : <ul style="list-style-type: none"> ○ Bain ultrasonique de NaOCl (3%) pendant 1 minute ○ Rinçage à l'eau stérile et séchage ○ Bain d'EDTA pendant 2 minutes et séchage ○ Bain de NaOCl (3%) pendant 1 minute. 	<p>5. Réalisation du protocole d'IDS :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mordançage à l'acide ortho-phosphorique (37,5%) pendant 15 secondes - Rinçage 15 secondes + séchage 5 secondes - Primer en multicouche pendant 15 secondes - Séchage léger pendant 5 secondes - Résine adhésive + polymérisation 20 secondes - Couche de résine composite fluide (G-ænial® Universal Flo) + polymérisation pendant 20 secondes

<p>7. Réalisation du protocole de collage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mordançage à l'acide ortho-phosphorique (37,5%) pendant 15 secondes - Rinçage 15 secondes + séchage 5 secondes - Primer en multicouche pendant 15 secondes - Séchage léger pendant 5 secondes - Résine adhésive + polymérisation 20 secondes <p>8. Réalisation de la restauration occlusale en résine composite fluide (G-ænial® Universal Flo) avec polymérisation pendant 20 secondes tous les millimètres sur 5 millimètres.</p>	<p>6. Réalisation du protocole d'irrigation canalaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Trempage dans un bain de NaOCl (3%) pendant 30 minutes - Irrigation finale : <ul style="list-style-type: none"> o Bain ultrasonique de NaOCl (3%) pendant 1 minute o Rinçage eau stérile et séchage o Bain d'EDTA pendant 2 minutes et séchage o Bain de NaOCl (3%) pendant 1 minute. <p>7. Réalisation du protocole de collage :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mordançage à l'acide ortho-phosphorique (37,5%) pendant 15 secondes - Rinçage 15 secondes + séchage 5 secondes - Résine adhésive + polymérisation 20 secondes <p>8. Réalisation de la restauration occlusale en résine composite fluide (G-ænial® Universal Flo) avec polymérisation pendant 20 secondes tous les millimètres sur 5 millimètres</p>
<p>9. Les dents préparées sont conservées pendant 24h dans de l'eau distillée dans une pièce à 37°C.</p> <p>10. Ces dents préparées sont ensuite stabilisées à l'aide de cire collante à la surface d'un bloc sécable en plexiglas avant d'être coupées en slices pour être analysées.</p> <p>11. Coupes verticales, parallèles au grand axe de la dent, de mésial en distal tous les 0,9 mm (comprenant la restauration et la dentine) l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse.</p>	

12. Les slices obtenus sont de nouveau stabilisés à l'aide de cire collante à la surface d'un bloc sécable en plexiglas.
13. Coupes verticales, parallèles au grand axe de la dent, de vestibulaire à lingual ou palatin tous les 0,9mm, afin d'obtenir des surfaces (0,81 mm²) à tester les plus petites possibles, l'aide d'un disque diamanté à basse vitesse.
14. Mise en place des coupes dans les machines test et réalisation du test de micro-traction jusqu'à la fracture
15. Préparation des coupes fracturées pour une analyse au MEB : séchage + application d'une couche d'or / palladium
16. Analyse au microscope électronique à balayage.

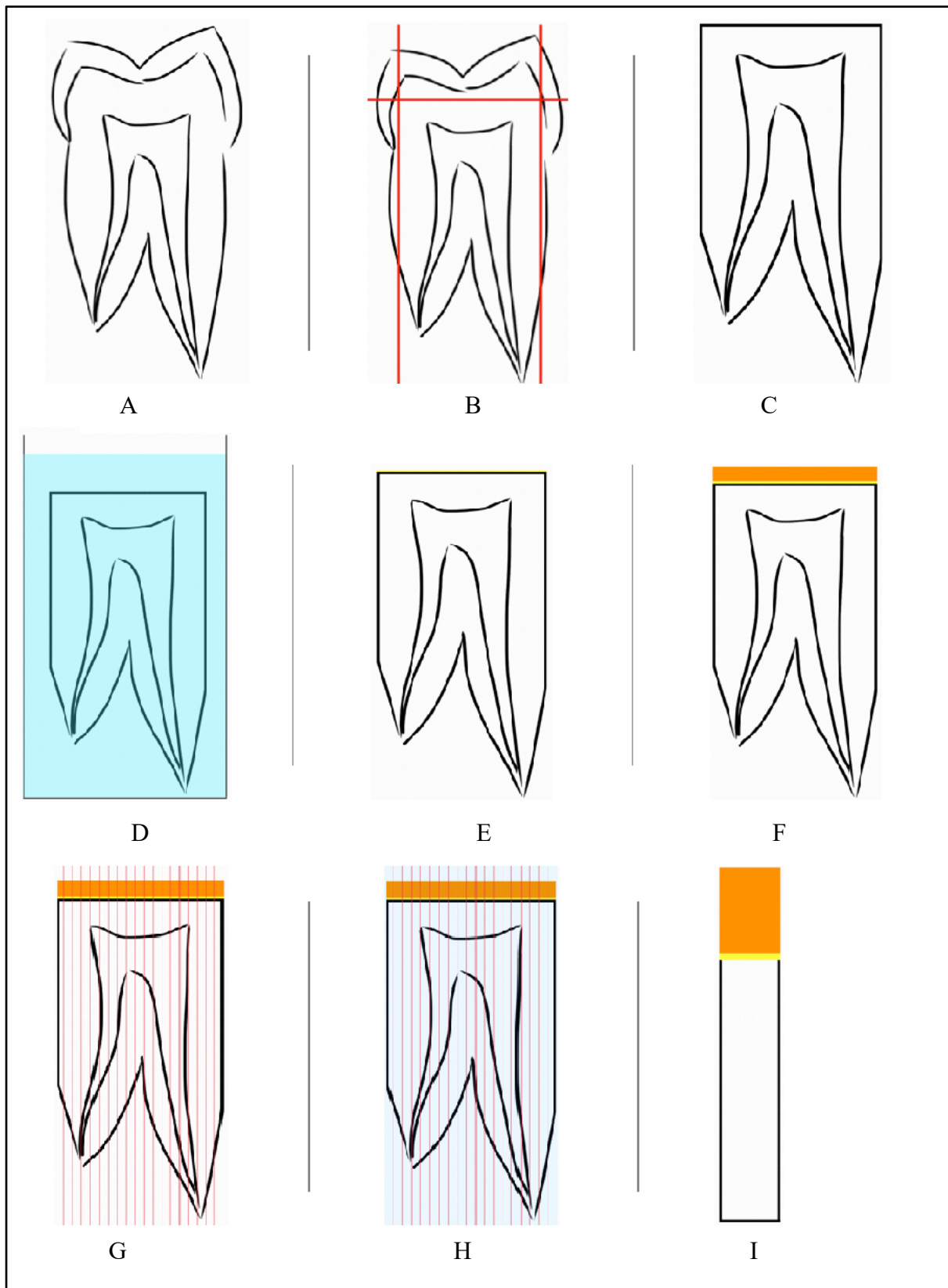


Figure 27 : Schéma du protocole proposé pour le groupe contrôle

Légende :

A : dent à l'état initial

B : élimination de l'émail occlusal et proximal

C : coupe obtenue : dentine + pulpe

D : protocole d'irrigation endodontique par bains de trempage

E : protocole d'adhésion : adhésif polymérisé

F : restauration au composite fluide sur 5 mm

G : coupes verticales de vestibulaire à lingual tous les 0,9 mm

H : coupe verticale de mésial à distal tous les 0,9 mm

I : échantillon à tester obtenu d'une surface de 0,81 mm²

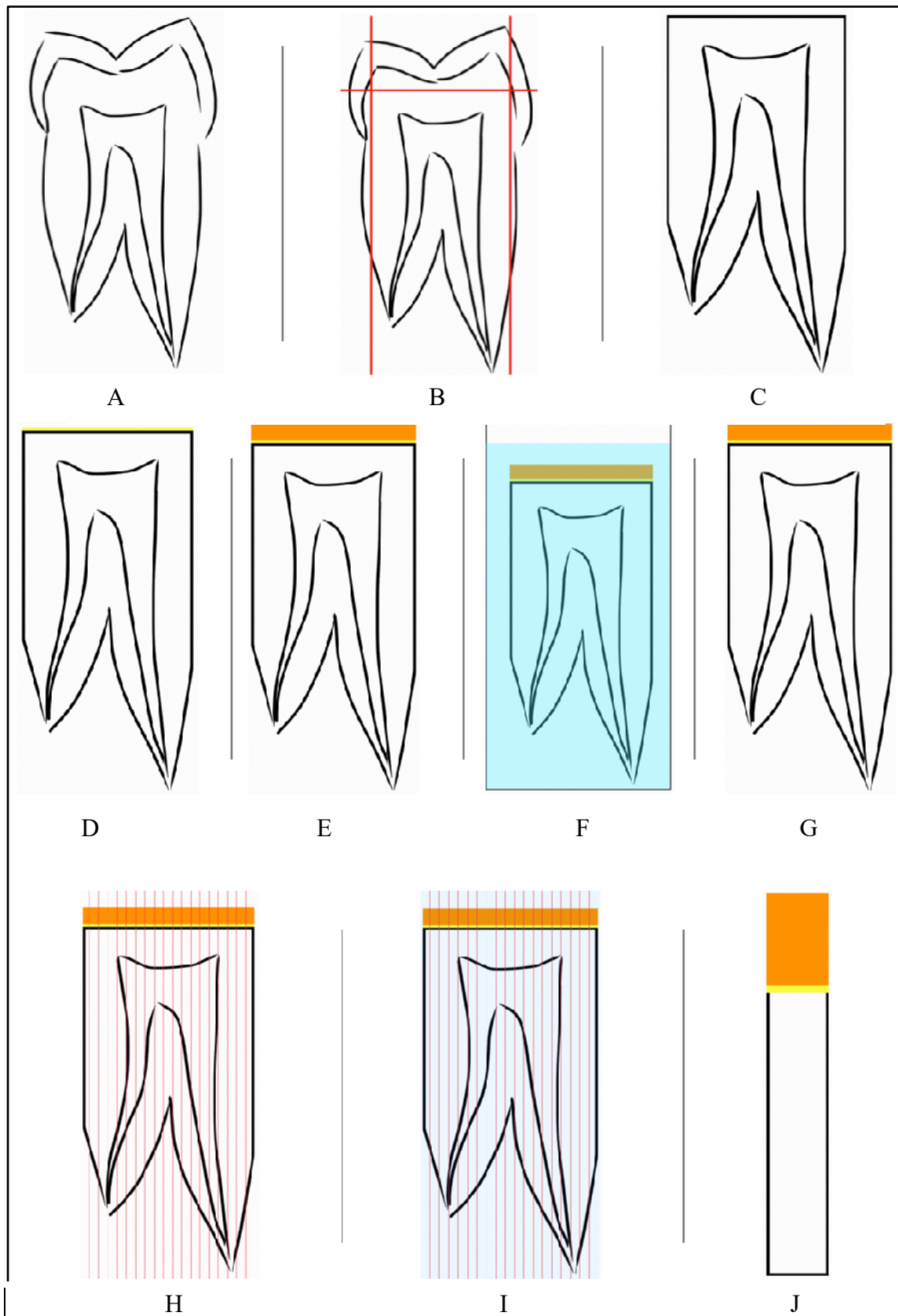


Figure 28 : Schéma du protocole proposé pour le groupe test

Légende :

A : dent à l'état initial

B : élimination de l'émail occlusal et proximal

C : coupe obtenue : dentine + pulpe

D : protocole d'hybridation immédiate de la dentine

E : protocole d'irrigation endodontique par bains de trempage

F : protocole d'adhésion : adhésif polymérisé

G : restauration au composite fluide sur 5 mm

H : coupes verticales de vestibulaire à lingual tous les 0,9 mm

I : coupe verticale de mésial à distal tous les 0,9 mm

J : échantillon à tester obtenu d'une surface de 0,81 mm²

CONCLUSION :

Le scellement dentinaire immédiat est une procédure récente apportant de nombreux avantages biologiques et mécaniques à la dentisterie moderne. Il permet la conservation d'un maximum de tissus durs limitant les atteintes pulpaires.

Si au niveau de la dentine superficielle son efficacité n'est plus à démontrer, en revanche au niveau de la cavité d'accès endodontique la question reste sans réponse évidente.

Afin de répondre à cette interrogation une étude in vitro doit être conduite. Ainsi un protocole reproductible doit être mis en place pour obtenir des résultats concluants. Pour mener à bien cette étude il est impératif qu'un maximum de biais soient évités.

Ce travail avait donc pour objectif la conception d'un protocole d'étude réalisable, fiable, se rapprochant au plus près des conditions cliniques et comprenant le moins de biais possibles.

Malgré tous les efforts mis en œuvre pour éliminer au plus les biais présents dans les études antérieurement réalisées, l'ébauche proposée présente des limites. En effet, l'essai clinique est réalisé in-vitro et la simulation exacte des conditions cliniques réelles ne peut être obtenue sur tous les points.

La prochaine étape de ce travail est la réalisation de l'étude afin de pouvoir affirmer ou infirmer l'impact du scellement dentinaire immédiat pré-traitement endodontique sur le collage.

Si les résultats ne montrent pas de valeurs cliniquement significatives, cela peut toutefois nous permettre, de comparer une dentine saine non protégée par une hybridation à une dentine réactionnelle par exemple en termes de valeur d'adhésion.

Si cette étude s'avère concluante, la question de l'utilité d'un ancrage intra-canalair apparaît. Cette idée est séduisante à l'ère de la dentisterie moderne et du no post no crown que l'on voit fleurir régulièrement sur les réseaux sociaux sans preuves scientifiques à priori.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des tableaux :

TABLEAU 1 : COMPOSITION DE L'EMAIL MATURE HUMAIN	2
TABLEAU 2 : COMPOSITION DE LA DENTINE HUMAINE (8)	5
TABLEAU 3 : TABLEAU COMPARATIF DES PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DE L'EMAIL ET DE LA DENTINE (26).....	12
TABLEAU 4 : RISQUES DE BIAIS RELEVES DANS LES DIFFERENTES ETUDES SELON L'ARTICLE DE BOHRER (5)	36
TABLEAU 5 : NOMBRES DE COUPES QUE L'ON PEUT OBTENIR SANS ELIMINATION DE L'EMAIL .	37
TABLEAU 6 : PROTOCOLE DE DESINFECTION ET CONSERVATION DES DENTS REMIS AUX PRATICIENS POUR LA RECOLTE DES DENTS :.....	39
TABLEAU 7 : RESUME DES ETAPES PRINCIPALES DE L'ETUDE :	40
TABLEAU 8 : PROTOCOLE D'IRRIGATION ENDODONTIQUE	41
TABLEAU 9 : INSTRUCTIONS DES FABRICANTS DES SYSTEMES ADHESIFS MR3 (OPTIBOND FL®) ET SAM2 (CLEARFIL SE®)	43
TABLEAU 10 : PROTOCOLE D'ADHESION LORSQU'IL N'Y A PAS DE SCHELEMENT DENTINAIRE IMMEDIAT : OPTIBOND FL®(69).....	44
TABLEAU 11 : PROTOCOLE D'ADHESION APRES SCHELEMENT DENTINAIRE IMMEDIAT : OPTIBOND FL®	45
TABLEAU 12 : PROTOCOLE DE REALISATION DES COUPES A TESTER (72-74)	47

Liste des figures :

FIGURE 1 : SCHEMA DE L'ORGANE DENTAIRE (7)	2
FIGURE 2 : COUPE SAGITTALE D'UNE DENT HUMAINE	2
(COURTOISIE DU DR MEYER JEAN)	2
FIGURE 3 : SCHEMA DE LA DENTINE ET DE SES COMPOSANTS SELON LA LOCALISATION (9).....	4
FIGURE 4 : COUPE MICROSCOPIQUE D'UN RESEAU COLLAGENIQUE COLLASPE (A GAUCHE) ET D'UN RESEAU COLLAGENIQUE RE-HYDRATE (A DROITE) (13)	7
FIGURE 5 : A : IMAGE AU MICROSCOPE DE LA SMEAR LAYER. B : ETAT DE SURFACE APRES ELIMINATION DE LA SMEAR LAYER PAR UNE SOLUTION D'EDTA A 17% (16)	9
FIGURE 6 : PHOTOGRAPHIE D'UNE COUPE DE COUCHE DE SMEAR LAYER APRES L'INSTRUMENTATION D'UN CANAL (MEB) (15)	9
FIGURE 7 : A : SMEAR LAYER RECOUVRANT LA DENTINE. B : INFILTRATION DE LA SMEAR LAYER DANS LES TUBULI DENTINAIRES (19)	10
FIGURE 8 : COUPE MICROSCOPIQUE DE L'OUVERTURE DES TUBULI DENTINAIRES APRES LE PASSAGE D'UNE SOLUTION D'EDTA (15).....	11
FIGURE 9 : FACTEURS INFLUENÇANT LE COMPORTEMENT BIOLOGIQUE DES MATERIAUX DE RESTAURATION	12
FIGURE 10 : COUPE SAGITTALE D'UN ORGANE DENTAIRE.....	14
(COURTOISIE DU DR MEYER JEAN)	14
FIGURE 11 : RESUME DES DIFFERENTS MOYENS D'ACTIVATION DES SOLUTIONS D'IRRIGATION (34)	16
FIGURE 12 : MOLECULE D'HYPOCHLORITE DE SODIUM	17
FIGURE 13 : COURBES DE CONCENTRATIONS DES DIFFERENTES FORMES HYPOCHLORITE, ACIDE HYPOCHLOREUX ET DICHLORE EN FONCTION DU POTENTIEL HYDROGENE (42).....	18
FIGURE 14 : SURFACE OCCLUSALE DE LA DENTINE APRES MORDANÇAGE A L'ACIDE PHOSPHORIQUE (32%) AVEC UN pH INFERIEUR A 1,8 (10)	19
FIGURE 15 : SURFACE OCCLUSALE DE LA DENTINE APRES MORDANÇAGE A L'ACIDE PHOSPHORIQUE (32%) AVEC UN pH = 2,2 (10).....	20
FIGURE 16 : SURFACE OCCLUSALE DE LA DENTINE RECOUVERTE DE SMEAR LAYER APRES MORDANÇAGE A L'ACIDE PHOSPHORIQUE (32%) AVEC UN pH = 3 (10)	20
FIGURE 17 : MOLECULE D'EDTA	21
FIGURE 18 : COUPES AU MEB DE DENTINE A : APRES UTILISATION D'EDTA A 17%. B : APRES UTILISATION DE NaOCl A 2,5% (38)	22

FIGURE 19 : COUPE MICROSCOPIQUE DE LA DENTINE APRES IRRIGATION AVEC UNE SOLUTION DE NAOCL A 2,5% ET D'EDTA A 17% (38).....	23
FIGURE 20 : SCHEMA DE LA STRUCTURE DE LA COUCHE HYBRIDE OBTENUE AVEC UN SAM ET UN M&R (12):	25
FIGURE 21 : PHOTOS DE COUPES TRANSVERSALES OBTENUES AU MEB. A : SURFACE DENTINAIRE APRES PREPARATION A LA FRAISE ET MORDANÇAGE. B : SURFACE DENTINAIRE APRES APPLICATION D'UN SYSTEME ADHESIF (63).	27
FIGURE 22 : VISUALISATION AU MEB LORS DE LA MISE EN PLACE D'UN SYSTEME ADHESIF (M&R) (13)	29
FIGURE 23 : SCHEMA DE LA REACTION DE LA BOUE DENTINAIRE ET DES TAGS RESINEUX LORS DE L'APPLICATION D'UN PRIMER (13)	30
FIGURE 24 : PROTOCOLE SCHEMATIQUE DE REALISATION DES SLICES (74)(6).....	48
FIGURE 25 : SCHEMA DES APPAREILS DE TEST DE MICRO-TRACTION (74).....	50
FIGURE 26 : SCHEMA DES DIFFERENTS TYPES DE FRACTURES (77)	51
FIGURE 27 : SCHEMA DU PROTOCOLE PROPOSE POUR LE GROUPE CONTROLE	56
FIGURE 28 : SCHEMA DU PROTOCOLE PROPOSE POUR LE GROUPE TEST	58

BIBLIOGRAPHIE

1. Spohr A, Ghiggi P, Steiger A, Marcondes M, Mota E, Burnett L. Does immediate dentin sealing influence the polymerization of impression materials? *European Journal of Dentistry*.2014;8(3):366
2. Gustalla O, Viennot S, Allard Y. Collages en odontologie. *EMC - Odontol*.2005;1(3):193-201.
3. Carvalho MPM, Morari VHC, Susin AH, Rocha RDO, Valandro LF, Soares FZM. Endodontic Irrigation Protocols: Effects on Bonding of Adhesive Systems to Coronal Enamel and Dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*.2017;29(3):222-8.
4. El-Haddad N. Incidence de la technique d'irrigation sur la pénétration en profondeur de la solution d'irrigation dans les tubules dentinaires. *IAJD*.2010;1(1)
5. Bohrer T, Fontana P, Lenzi T, Soares F, Rocha R. Can endodontic irrigating solutions influence the bond strength of adhesives to coronal dental substrates? A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *The Journal of Adhesive Dentistry*.2018;(6):481–494.
6. Magne P, Kim TH, Cascione D, Donovan TE. Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *The journal of prosthetic dentistry*.2005;94(6):9.
8. Piette E, Goldberg M. La dent normale et pathologique. *De Boeck Supérieur*;2001.392 p.
9. Marshall GW, Marshall SJ, Kinney JH, Balooch M. The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *Journal of Dentistry*.1997;25(6):441-58.
10. Goldberg M. Histologie du complexe dentinaire. *EMC Médecine Buccale*.2016;11(28-090-B-10):1- 25.

11. Schiltz-Taing M, Wang Y, Suh B, Brown D, Chen L. Effect of Tubular Orientation on the Dentin Bond Strength of Acidic Self-etch Adhesives. *Operative Dentistry*.2011;36(1):86-91.
12. Susin A, Montagner A, Carvalho MM. Microshear bonding effectiveness of different dentin regions. *Indian Journal of Dental Research*.2015;26(2):131.
13. Hashimoto M, Nagano F, Endo K, Ohno H. A review: Biodegradation of resin–dentin bonds. *Japanese Dental Science Review*.2011;47(1):5-12.
14. Pashley DH, Razzano MR. The evolution of dentin bonding from no-etch to total-etch to self-etch.2002;5.
15. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *Journal of Biomedical Materials Research*.1982;16(3):265-73.
16. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: A review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*.2002;94(6):658-66.
17. Dotto SR, Travassos RMC, de Oliveira EPM, de Lima Machado ME, Martins JL. Evaluation of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) solution and gel for smear layer removal. *Australian Endodontic Journal*.2007;33(2):62-5.
18. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics*.1975;1(7):238-42.
19. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon á. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal*.2003;36(12):810-30.

20. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.*1965;20(3):340-9.
21. Pashley DH. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc.*1992;88 Suppl 1:215-24.
22. Dioguardi M, Di Gioia G, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano G. Endodontic irrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. *Eur J Dent.*2018; 12(3):459-466
23. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent.*2010;13(4):256-64
24. Mello I, Robazza CRC, Antoniazzi JH, Coil J. Influence of different volumes of EDTA for final rinse on smear layer removal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology.*2008;106(5):e40-3.
25. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: A scanning electron microscopic study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.*1981;52(2):197-204.
26. Lasfargues J-J, Colon P. *Odontologie conservatrice et restauratrice : Tome 1 : Une approche médicale globale. Email dentaire.* CdP.2009. 480 p. (JPIO).
27. Etienne O, Anckenmann L. *Restaurations esthétiques en céramique collée.* CdP.2016. 353 p. (JPIO; vol. 1).
28. Alliot-Licht B, Armengol V, Dajeau-Trutaud S, Marion D. Facteurs étiologiques généraux de la pathologie pulpodentinaire. *EMC - Dentisterie.*2004;1(3):312-25.

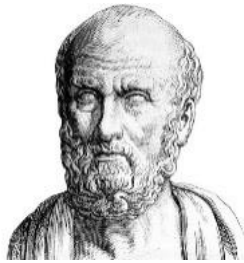
29. Pashley EL, Comer RW, Simpson MD, Horner JA, Pashley DH, Caughman WF. Dentine permeability: sealing the dentin in crown preparations. *Operative dentistry*.1992;17:13-20
30. Pashley DH. Sensitivity of dentin to chemical stimuli. *Dental Traumatology*.1986;2(4):130-7.
31. Etienne O, Toledano C, Paladino F, Serfaty R. Restaurations tout-céramique sur dents vitales - Editions CdP: Prévenir et traiter les sensibilités postopératoires. *Initiatives Sante*; 172 p.
32. Rossi-Fedele G, Dođramacı EJ, Guastalli AR, Steier L, Poli de Figueiredo JA. Antagonistic Interactions between Sodium Hypochlorite, Chlorhexidine, EDTA, and Citric Acid. *Journal of Endodontics*.2012;38(4):426-31.
33. Siqueira J, Rôças I, Favieri A, Lima K. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*.2000;26(6):331-334.
34. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y-L. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*.2005;10(1):103-22.
35. L Gu, J Kim, J Ling, K Choi, Pashley DH, Tay F. Review of Contemporary Irrigant Agitation Techniques and Devices. *Journal of endodontics*.2009;35(6):791-804
37. Nascimento Santos J, de Oliveira Carrilho MR, Fernando De Goes M, Augusto Zaia A, de Almeida Gomes BPF, de Souza-Filho FJ, et al. Effect of Chemical Irrigants on the Bond Strength of a Self-Etching Adhesive to Pulp Chamber Dentin. *Journal of Endodontics*.2006;32(11):1088-90.
38. Oyarzun A, Cordero A, Whittle M. Immunohistochemical Evaluation of the Effects of Sodium Hypochlorite on Dentin Collagen and Glycosaminoglycans. *Journal of Endodontics*.2002;28(3):152-6.

39. Wagner MH, da Rosa RA, de Figueiredo JAP, Duarte MAH, Pereira JR, S6 MVR. Final irrigation protocols may affect intraradicular dentin ultrastructure. *Clinical Oral Investigations*.2017;21(7):2173-82.
40. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International Endodontic Journal*.2003;36(6):411-5.
41. Mai S, Kim YK, Arola DD, Gu L, Kim JR, Pashley DH, Tay FR. Differential aggressiveness of ethylenediamine tetraacetic acid in causing canal wall erosion in the presence of sodium hypochlorite. *Journal of Dentistry*.2010;38: 201-206
42. Abuhaimed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. *BioMed Research International*.2017;2017: 1-8.
43. Eau de Javel.pdf.
44. Hannig M. Effect of Carisolv™ solution on sound, demineralized and denatured dentin: an ultrastructural investigation. *Clinical Oral Investigations*.1999;3(3):155-9.
45. Arslan H, Özcan E, Harorli O, Barutçigil Ç. Micro-tensile bond strength of adhesives to pulp chamber dentin after irrigation with Ethylenediaminetetraacetic acid. *Journal of Conservative Dentistry*.2012;15(3): 242.
46. Hulsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation: literature review and case reports. *International Endodontic Journal*.2000;33(3): 186-93.
47. Naenni N, Thoma K and Zehnder M, Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J. Endod*.2004: 30(11): 785.
48. Cecchin D, Farina AP, Galafassi D, Barbizam JVB, Corona SAM, Carlini-Júnior B. Influence of sodium hypochlorite and edta on the microtensile bond strength of a self-etching adhesive system. *Journal of Applied Oral Science*.2010;18(4): 385-9.

49. Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *Journal of Endodontics*.1987;13(2): 47-51.
50. Ramirez-Bommer C, Gulabivala K, Ng Y-L, Young A. Estimated depth of apatite and collagen degradation in human dentine by sequential exposure to sodium hypochlorite and EDTA: a quantitative FTIR study. *International endodontic journal*.2018;51: 469-478.
51. Magne P, So W-S, Cascione D. Immediate dentin sealing supports delayed restoration placement. *J Prosthet Dent*. 2007;98(3): 166-74.
52. Brigagão VC, Barreto LFD, Gonçalves KAS, Amaral M, Vitti RP, Neves ACC, et al. Effect of interim cement application on bond strength between resin cements and dentin: Immediate and delayed dentin sealing. *The Journal of Prosthetic Dentistry*.2017;117(6): 792-8.
53. Magne P. Immediate dentin sealing: A fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent*. 2005;17(3): 144-155.
54. Gillespie G. Immediate dentin sealing: increasing long-term predictability of indirect restorations. *Canadian Journal of Restorative Dentistry & Prosthodontics*.2011; 14-19
55. Medina ADC, Paula AB de, Fucio SBP de, Puppim-Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MAC. Marginal adaptation of indirect restorations using different resin coating protocols. *Brazilian Dental Journal*.2012;23(6): 672-8.
56. Oliveira L, Mota E, Borges G, Burnett L, Spohr A. Influence of Immediate Dentin Sealing Techniques on Cuspal Deflection and Fracture Resistance of Teeth Restored with Composite Resin Inlays. *Operative Dentistry*.2014;39(1): 72-80.
57. Abu-Nawareg MM, Zidan AZ, Zhou J, Agee K, Chiba A, Tagami J, et al. Adhesive sealing of dentin surfaces in vitro: A review.2016;41.

58. Politano G, Van Meerbeek B, Peumans M. Nonretentive bonding ceramic partial crowns: concept and simplified protocol for long-lasting dental restorations. *J Adhes Dent.*2018;20(6):495-510.
59. Naumova EA, Ernst S, Schaper K, Arnold WH, Piwowarczyk A. Adhesion of different resin cements to enamel and dentin. *Dental Materials Journal.*2016;35(3):345-52.
60. Jacobsen T, Söderholm K-J. Some effects of water on dentin bonding. *Dental Materials.*1995;11(2):132-6.
61. Dillenburg I, Soares C, Paranhos MP, Sporh AM, Loguercio A, Burnett LH. Microtensile Bond Strength of Prehybridized Dentin: Storage Time and Surface Treatment Effects. *J Adhes Dent.*2009;11: 213-237
62. Van den Breemer C, Özcan M, Pols M, Postema A, Cune M, Gresnigt M. Adhesion of resin cement to dentin: effects of adhesive promoters, immediate dentin sealing strategies, and surface conditioning. *The international Journal of Esthetic dentistry.*2019; 14 (1): 52-63.
63. De Rose L, Krejci I, Bortolotto T. Immediate endodontic access cavity sealing: fundamentals of a new restorative technique. *Odontology.*2015;103(3):280-5.
64. Lee HH, Majd H, Orrego S, Majd B, Romberg E, Mutluay MM, et al. Degradation in the fatigue strength of dentin by cutting, etching and adhesive bonding. *Dental Materials.*2014;30(9): 1061-72.
65. Duarte RM, de Goes MF, Montes MAJR. Effect of time on tensile bond strength of resin cement bonded to dentine and low-viscosity composite. *Journal of Dentistry.*2006;34(1): 52-61.
66. Magne P, So WS, Cascione D. Immediate dentin sealing supports delayed restoration placement. *J Prosthet Dent.*2007;98: 166-174

67. Magne P. IDS: Immediate Dentin Sealing (IDS) for Tooth Preparations. *J Adhes Dent.*2014;16 (6):594.
68. Aydin B, Pamir T, Baltaci A, Orman M, Turk T. Effect of storage solutions on microhardness of crown enamel and dentin. *European Journal of Dentistry.*2015;9(2):262.
69. Protocole d'utilisation du système adhésif Clearfil SE.pdf.
70. Protocole d'utilisation du système adhésif Optibond FL.pdf.
71. Degrange M. Les adhésifs qui requièrent un mordantage préalable sont-ils obsolètes ? *Inf Dent.* 2007;(4): 119-24.
72. Protocole d'utilisation de G-aenial Universal Flo Flowable Composite
73. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength: Evaluation of a micro-tensile bond test. *Dental Materials.*1994;10(4):2 36-40.
74. Tay FR, Carvalho R, Sano H, Pashley DH. Effect of Smear Layers on the Bonding of a Self-etching Primer to Dentin. *Journal of Adhesive Dentistry.*2000;2(2):99-116.
75. Pashley DH, Nakajima M, Yoshiyama M, FernandesS CA, Tay F. The Microtensile Bond Test: A Review.*J Adhesive Dent;* 1:299-309
76. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. Effect of cross-sectional surface area on bond strengths between resin and dentin. *Dental Materials.*1998;14(2):120-8.
77. Cardoso PEC, Braga RR, Carrilho MRO. Evaluation of micro-tensile, shear and tensile tests determining the bond strength of three adhesive systems. *Dental Materials.*1998;14(6):394-8.
78. Zotti A, Zuppolini S, Zarrelli M, Borriello A. Fracture toughening mechanisms in epoxy adhesives. *Adhesives-application and properties.*2016; 10: 237-269.



Serment médical :

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine Dentaire.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

J'informerai mes patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des connaissances pour forcer les consciences.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

PRINCE Fanny – L’impact sur le collage du scellement dentinaire immédiat pré-traitement endodontique : proposition d’un protocole d’étude.

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2019

Rubrique de classement : Odontologie Prothétique

Résumé :

Le scellement immédiat de la dentine est de plus en plus utilisé dans la dentisterie moderne. S’il offre des avantages biologiques et mécaniques importants il présente également certains inconvénients notamment lorsqu’il doit être réalisé après un traitement endodontique.

Lors de ce dernier, la cavité d’accès est la partie qui est le plus en contact avec les solutions d’irrigation. L’hypochlorite de sodium est la solution désinfectante de choix, cependant elle a un impact délétère sur les structures environnantes, comme le collagène.

Après un rappel sur l’histologie de l’organe dentaire, les principales solutions d’irrigation endodontiques et le concept du scellement immédiat de la dentine, ce travail consiste à proposer un protocole pour mener ultérieurement une étude démontrant l’impact de ces solutions sur l’adhésion.

Mots clés : Scellement dentinaire immédiat, Traitement endodontique, Solutions d’irrigation, Collage

PRINCE Fanny – The bonding’s impact of immediate dentin sealing before an endodontic treatment: a study protocol proposition

Abstract:

Immediate dentin sealing is increasingly used in modern dentistry. If it offers significant biological and mechanical advantages, it also has disadvantages, especially when it must be performed after endodontic treatment.

During an endodontic treatment, the access cavity is the part that is most in contact with the irrigating solutions. Sodium hypochlorite is the gold standard irrigant in root canal treatment, however it has an impact on surrounding structures, such as collagen.

After a review of tooth histology, the main irrigating solutions used during an endodontic treatment and the immediate dentin sealing concept, this work proposes a study protocol to demonstrate the impact of those solutions on bonding.

MeSH: Immediat dentin sealing, Endodontic treatment, Irrigating solution, Bonding

Adresse de l’auteur :

34 Rue Alfred Curtel
13010 MARSEILLE

