

**UNIVERSITE TOULOUSE III – PAUL SABATIER**  
**FACULTE DE SANTE – DEPARTEMENT D'ODONTOLOGIE**

---

ANNEE 2023

2023 TOU3 3103

**THESE**

POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement

par

**Hadj DAHMANE**

le 15 décembre 2023

**LA RECONSTITUTION DU POINT DE CONTACT PAR LA  
MÉTHODE DIRECTE EN 2023**

---

Directeur de thèse : Dr Nicolas ALAUX

---

**JURY**

Président : Pr Franck DIEMER

1er assesseur : Dr Cathy NABET

2ème assesseur : Dr Marie-Cécile VALERA

3ème assesseur : Dr Nicolas ALAUX



**UNIVERSITÉ  
TOULOUSE III**  
**PAUL SABATIER**



Université  
de Toulouse

Faculté de santé  
Département d'Odontologie

➔ DIRECTION

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé

Directrice du Département d'Odontologie

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjoints

Mme Sarah COUSTY

M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative

Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique

Mme Cathy NABET

➔ HONORARIAT

Doyens honoraires

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

Chargés de mission

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ PERSONNEL ENSEIGNANT

**Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention**

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

**ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE**

Professeurs d'Université : Mme Isabelle BAILLEUL-FORESTIER, M. Frédéric VAYSSE

Maîtres de Conférences : Mme Marie- Cécile VALERA, M. Mathieu MARTY

Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH

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

**ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE**

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

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

Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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

Professeurs d'Université : M. Michel SIXOU, Mme Catherine NABET, M. Olivier HAMEL, M. Jean-Noël VERGNES

Maîtres de Conférences : Mme Géromine FOURNIER

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL

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

**Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale**

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

**PARODONTOLOGIE**

Professeurs d'Université : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX,

Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS

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

Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE,

Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

### CHIRURGIE ORALE

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

### BIOLOGIE ORALE

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

## **Section CNU 58 : Réhabilitation Orale**

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

#### **DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE**

Professeur d'Université : M. Franck DIEMER  
Maîtres de Conférences : M. Philippe GUIGNES, Mme Marie GURGEL-GEORGELIN, Mme Delphine MARET-COMTESSE  
Assistants : M. Nicolas ALAUX, M. Vincent SUAREZ, M. Loris BOVIN, Mme Laura PASCALIN, M. Thibault DECAMPS, Mme Emma STURARO, Mme Anouk FESQUET  
Adjoints d'Enseignement : M. Eric BALGUERIE, M. Jean-Philippe MALLET, M. Rami HAMDAN, M. Romain DUCASSE,  
Mme Lucie RAPP

#### **PROTHÈSES**

Professeurs d'Université : M. Philippe POMAR, M. Florent DESTRUHAUT,  
Maîtres de Conférences : M. Antoine GALIBOURG,  
Assistants : Mme Margaux BROUTIN, Mme Coralie BATAILLE, Mme Mathilde HOURSET, Mme Constance CUN  
M. Anthony LEBON  
Adjoints d'Enseignement : M. Christophe GHRENASSIA, Mme Marie-Hélène LACOSTE-FERRE, M. Olivier LE GAC, M. Jean-Claude COMBADAZOU, M. Bertrand ARCAUTE, M. Fabien LEMAGNER, M. Eric SOLYOM,  
M. Michel KNAFO, M. Victor EMONET-DENAND, M. Thierry DENIS, M. Thibault YAGUE,  
M. Antonin HENNEQUIN, M. Bertrand CHAMPION

#### **FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX**

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

Mise à jour pour le 01 Novembre 2023

## REMERCIEMENTS :

A toi Maman, pour les notions de persévérance, de motivation, et de détermination que tu m'as si bien transmises. Merci d'avoir été là durant les moments de faiblesses afin de m'aider à aller de l'avant. Tu as été un modèle pour moi et tu le seras toujours.

A toi Papa, merci pour les sacrifices que tu as fait pour notre réussite, je te dédie ce travail fièrement afin de t'en remercier. J'espère continuer à te rendre fière.

A toi Amina, pour ta présence et ton oreille attentive durant les moments difficiles, ainsi que pour la si belle image que tu as de moi qui me pousse chaque jour à être meilleur.

A mes petites sœurs que j'aime tant et que je chéris plus que tout au monde.

A toi ma femme, j'aime voir la vie à travers ton regard et j'aime d'autant plus avoir passé ces dernières années d'études à tes côtés. Elles m'ont parues à la fois si douces et si simples. Cette réussite n'est pas seulement la mienne, mais aussi la tienne.

A toi Tim, pour tous ces moments de joies, de remises en questions mais surtout ces moments de rires que je n'oublierai jamais. Tu as été le binôme dont j'avais toujours rêvé et avec qui, je l'espère, pouvoir travailler un jour.

A toi Nassim, qui est un frère pour moi. Mon soutien dans tes projets sera toujours inconditionnel et j'attends avec impatience que tu rejoignes à nouveau ta place qui est parmi nous. A notre fraternité éternelle.

A toi Bilal, pour ces années passées ensemble, du quartier, au lycée et jusqu'à ce jour. Merci pour cette chaleureuse fraternité qui t'es propre. Il ne fait aucun doute que ta carrière sera à la hauteur de tes qualités rayonnantes.

A Omer, Moha, Flo, Robin, Laura, Yasmine, Hamdy et Thibault pour ces moments partagés : à rire, travailler, stresser +++ et se motiver durant nos trop nombreuses PACES. Votre présence a été importante durant ces années précieuses mais aussi pour la suite. (+ un merci particulier à mes deux taxis qui se reconnaîtront, sans qui je ne serais littéralement pas là aujourd'hui.)

A Amin amin, Amine, Amine, Omar, Bassem & Anas : merci pour rien.

A la bande organisée, à tous ces moments passés ensemble entre et pendant chaque patient, mais aussi en amphitheâtre, en TP et partout ailleurs. La clinique a été un pur régal avec vous. Ce qui me manquera le plus sera certainement de vous prêter une dernière fois.

N.B: la prochaine fois je viendrais, promis.

A toi Arthur, le binôme remplaçant, tel Luka Jovic qui a dû remplacer le boss Tim CR7 : Toi non plus tu ne l'égaleras jamais. A toutes ces blagues et ce bon travail d'équipe.

A Cyril, Romain, Zack, Vincent, Aziz, mes amis d'enfance, ma famille, ma belle famille et toutes les personnes que je n'ai pu citer mais qui se reconnaîtront.

Cette thèse est une réussite collective, c'est le ballon d'or du peuple.

***A notre Président du jury***

**Monsieur le Professeur Franck DIEMER,**

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

*Je vous remercie de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse. Vous avoir à nos côtés durant notre cycle d'étude pré-clinique et clinique a été une grande chance et m'a permis de m'enrichir sur le plan professionnel et personnel. Vous nous avez appris à développer une rigueur professionnelle afin de toujours se perfectionner et soigner nos patients de la meilleure des façons. Merci de m'avoir donné goût à l'endodontie, discipline que j'apprécie grâce à des professeurs comme vous.*

***A notre jury de thèse***

**Madame le Professeur Cathy NABET,**

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

*Je vous remercie de me faire l'honneur de participer à ce jury de thèse. Vous avez toujours été à l'écoute de vos étudiants afin de les aider, leur prodiguer de bons conseils et les soutenir. Vous êtes l'une des professeurs avec qui j'ai eu le plus de facilité à venir parler de difficultés ou de cas cliniques afin d'en discuter. Ce fût un réel plaisir de travailler et d'apprendre à vos côtés. Vos passions pour l'enseignement et la recherche n'ont pu que faciliter les études de vos étudiants. Soyez assuré de mon profond respect et de ma sincère gratitude.*

## ***A notre jury de thèse***

**Madame le Docteur Marie-Cécile VALERA,**

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur de l'université Paul Sabatier – Spécialité : Physiopathologie cellulaire, moléculaire et intégrée,
- Master 2 recherche, mention Physiologie cellulaire intégrée
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.
- Habilitation à Diriger des Recherches (H.D.R.).

*Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de mon jury. Merci à vous d'avoir été là pour nous durant ce cursus scolaire. J'ai pu bénéficier de vos qualités d'enseignante et de praticienne lors de mes cycles précliniques et cliniques. Vous m'avez aidé à aimer la pédodontie dès le début de mon cursus. Vos grandes connaissances m'ont permis d'enrichir les miennes et de soigner au mieux mes patients jusqu'à ce jour. Votre pédagogie, vos conseils, votre disponibilité, votre gentillesse ont fait une part du soignant que je suis aujourd'hui. Veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude la plus sincère et de mon profond respect.*

**A notre directeur et jury de thèse**

**Monsieur le Docteur Nicolas ALAUX,**

- Assistant hospitalo-universitaire en dentisterie restauratrice à l'Université de Toulouse,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Certificat d'Etude Supérieure en dentisterie endodontique et restauratrice de la Faculté d'odontologie de Toulouse,
- Attestation d'Etude Supérieure médico-chirurgical de la faculté de Toulouse.

*Je vous remercie d'avoir accepté de diriger ce travail. Je n'ai pas hésité à venir vous voir afin que vous m'aidiez à réaliser cette thèse qui a été très enrichissante pour moi. Un travail, résumé certes, mais qui m'a apporté à l'aide de toutes les connaissances derrière ce manuscrit, une compétence clinique qui me sera utile au quotidien. Merci d'être le mentor que vous êtes, avec votre écoute, votre implication, votre gentillesse, votre disponibilité et votre bienveillance. Un praticien qui n'hésitait pas à dire lorsque ça n'allait pas et lorsque c'était parfait. Grâce à vos critiques positives et négatives nous avons pu progresser et devenir les soignants que nous sommes aujourd'hui. J'ai eu le plaisir de travailler avec vous en clinique, je continuerai à appliquer vos précieux conseils. Vous m'avez appris la persévérance et la patience dans la discipline de l'odontologie conservatrice. C'est pour tout cela, qu'il était important pour moi de vous choisir comme directeur de thèse. Voyez en ce travail l'expression de ma gratitude et de mes sentiments les plus sincères.*



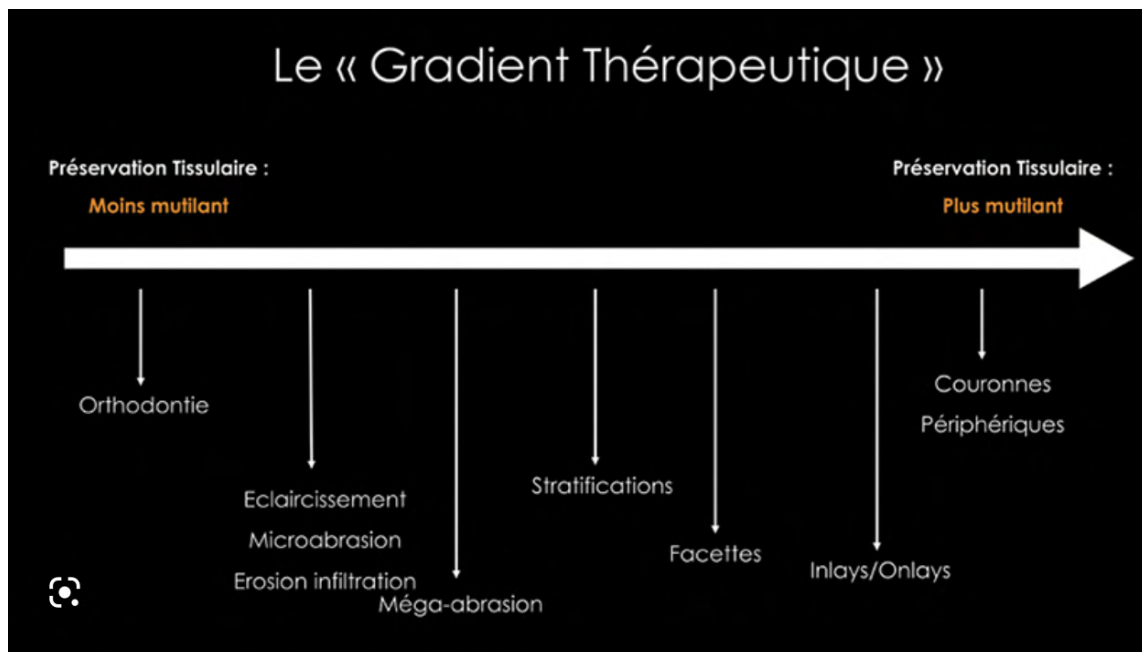
# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Caractéristiques structurales et esthétiques d'une dent naturelle.....</b>	<b>14</b>
1.1 Composition interne d'une dent.....	14
1.1.1 L'émail.....	14
1.1.1.1 Composition.....	14
1.1.1.2 Structure.....	15
1.1.1.3 Structure secondaire.....	16
1.1.1.4 Vieillessement.....	18
1.1.1.5 Fonction.....	18
1.1.1.6 Cycle de déminéralisation-reminéralisation.....	18
1.1.1.7 Email carieux.....	19
1.1.2 La dentine.....	19
1.1.2.1 Composition.....	20
1.1.2.2 Structure.....	21
1.1.2.3 Dentine sclérotique.....	23
1.1.2.4 Dentine carié.....	23
<b>2. Caractéristique d'un point de contact.....</b>	<b>24</b>
2.1 Le point de contact.....	24
2.2 Les embrasures.....	25
2.3 La papille.....	26
2.4 Le septum.....	26
2.5 Syndrome du septum.....	27
2.6 Vérifier un point de contact.....	27
<b>3. Méthodes de reconstitutions d'un point de contact.....</b>	<b>28</b>
3.1 Méthode directe.....	28
3.1.1 Biomimétisme.....	28
3.1.2 Économie tissulaire.....	29
3.1.3 Procédé clinique de la méthode direct.....	29
3.1.3.1 Préparation tissulaire.....	29
3.1.3.2 Mise en place du système matricielle.....	29

3.1.3.3 Coin mainteneur.....	30
3.1.3.4 . Choix de l'anneau séparateur.....	31
3.1.3.4.1 Garisson (44).....	31
3.1.3.4.2 Bioclear (49).....	35
3.1.3.4.3 Polydentia.....	37
3.1.3.4.4 Palodent.....	38
3.1.3.5 Obturation.....	39
3.1.3.6 Polissage.....	39
3.1.4 Les résines composites.....	39
3.1.4.1 Composition.....	39
3.1.4.1.1 Phase organique.....	39
3.1.4.1.2 Phase inorganique.....	40
3.1.4.2 Classification des composites.....	41
3.1.4.2.1 Selon la taille des charges.....	43
3.1.4.2.2 Ormocers.....	46
3.1.4.2.3 Les Siloranes.....	47
3.1.4.2.4 Les composites renforcés de fibres de verres (CRFs).....	48
3.2 Méthode indirecte.....	49
3.2.1 Indications.....	50
3.2.1.1 Cavités larges avec recouvrement cuspidien.....	50
3.2.1.2 Matriçage impossible.....	50
3.2.1.3 Présence d'émail cervicale en petite quantité.....	50
3.2.1.4 Restaurations multiples.....	50
3.2.1.5 Syndrome des dents fissurés ou Cracked tooth syndrome.....	51
3.2.1.6 Porte à faux.....	51
3.2.1.7 Usures dentaires et augmentation de DVO.....	51
3.3 Restauration directe ou indirecte ?.....	52
<b>CONCLUSION :</b> .....	<b>53</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE :</b> .....	<b>54</b>
<b>TABLE DES FIGURES :</b> .....	<b>61</b>

## INTRODUCTION

La dentisterie moderne et contemporaine doit être préservatrice avec un respect du gradient thérapeutique, permise par les récents progrès dans la recherche et dans la dentisterie adhésive. En effet, les patients sont plus soucieux de leur état bucco-dentaire et recherchent de plus en plus à restaurer esthétiquement leurs dents. D'autre part, le praticien a davantage de choix sur l'utilisation de techniques, de matériaux et d'outils pour la réalisation des soins. L'objectif principal du praticien se concentrera sur la réalisation du soin minimalement invasif tout en respectant la vitalité pulpaire. Cela est permis principalement par la dentisterie adhésive.



*Figure 1 ; Le gradient thérapeutique (126)*

Le développement des techniques de restaurations adhésives en odontologie, avec notamment l'arrivée de nouveaux composites plus résistants et plus esthétiques, a considérablement modifié l'approche et la réalisation des soins. Ceci permet une meilleure préservation tissulaire et un meilleur respect du gradient thérapeutique. Les nouveaux composites amènent à aller au-delà des limites établies de la méthode directe, indiquant qu'une restauration directe est plus adaptée pour les petites pertes de substance et qu'une restauration indirecte est plus adaptée pour une perte de substance importante, comme on peut si bien le lire dans la littérature.

Les restaurations indirectes connaissent un essor important par l'intermédiaire notamment du développement de la CFAO, permettant la création de pièces prothétiques assistées par ordinateur, parfois au sein même du cabinet s'il est équipé d'une usineuse.

Les cavités de classe II se doivent d'être restaurées en respectant l'anatomie dentaire dont le point de contact. En effet, il sera important d'essayer de reproduire le plus fidèlement possible l'anatomie du point de contact pour respecter le rôle majeur de celui-ci.

L'objectif de ce travail de thèse sera d'étudier différents procédés cliniques de restauration du point de contact. Nous commencerons par présenter dans un premier temps l'histologie dentaire et les différents matériaux utilisés lors de la réalisation d'une technique directe. Ensuite, s'en suivra le procédé clinique de réalisation d'un point de contact en méthode directe. L'avènement de nouveaux matériaux composites nous amènera à les classer afin de les étudier. Enfin, à l'aide de la bibliographie, nous conclurons sur la méthode la plus adéquate afin de réaliser un point de contact.

# 1. Caractéristiques structurelles et esthétiques d'une dent naturelle

## 1.1 Composition interne d'une dent

### 1.1.1 L'émail

L'émail est composé de minéraux qui lui confèrent des propriétés mécaniques exceptionnelles, combinant dureté et rigidité extrêmes, avec une résilience accrue permettant de supporter des centaines de cycles masticatoires dans une cavité buccale subissant des fluctuations extrêmes de pH et de température.

Bien que l'émail n'ait pas la capacité de se remodeler ou de se réparer, sa composition lui offre une pérennité durant des décennies, sans défaillance catastrophique.(1)

#### 1.1.1.1 Composition

L'émail, d'origine épithéliale, édifié lors de l'amélogenèse, est le tissu le plus minéralisé de l'organisme (96%). Il constitue un tissu relativement homogène du fait de sa faible composante organique (0,4%) et aqueuse (3,6%). (2)

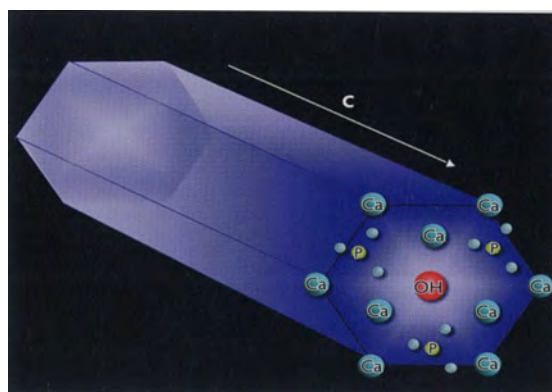
- Phase organique

Cette phase contient principalement les protéines amélogénines et les non-amélogénines ainsi que des traces de lipides. (3)

La matrice organique est située au niveau d'espaces non minéralisés formant des micropores ou des pores, localisés entre les cristaux, à l'interface entre les prismes et la substance interprismatique. Ces pores inter-cristallins forment un réseau de diffusion pour l'eau, les espèces ionisées et le matériel organique. (4)(5)

- Phase minérale

Cette phase est composée d'un empilement de monocristaux de phosphate de calcium ou hydroxyapatite. Ces monocristaux ont une forme de rhomboèdre dont les arêtes a et b sont sensiblement égales et mesurent en moyenne 9,5 °A, pour un axe c de 6,9A°. Il existe également au sein de la phase minérale, des traces de sodium, potassium, magnésium, chlore, fluor. (5)



*Figure 2 : Composition et situation du cristaux d'hydroxyapatite (5)*

### 1.1.1.2 Structure

Les cristaux d'hydroxyapatite s'assemblent pour former des structures régulières que sont les cristallites. Ces dernières forment les prismes d'émail, la matrice interprismatique et les limites des prismes qui séparent partiellement les deux structures. (6)

Il faut distinguer deux types d'émail :

- L'émail prismatique :

L'émail dentaire est organisé en structure hiérarchique. Le niveau hiérarchique le plus bas est représenté par les cristallites d'hydroxyapatite. Elles se présentent sous la forme de nanofibres d'un diamètre d'environ 50 nm et d'une longueur supposée couvrir la totalité de la couche d'émail. (1)(6) Plusieurs milliers de cristallites d'hydroxyapatite ayant pratiquement la même orientation, forment les prismes d'émail, avec un diamètre augmentant de la jonction amélo-dentinaire (JAD) vers l'extérieur du fait de l'accroissement de la surface développée. (1)(5)

Les cristaux allongés sont tous parallèles et alignés avec l'axe long de la tige, mais ils ne sont pas co-orientés. En fait, l'écart angulaire de leurs axes c à l'intérieur d'une tige est généralement de 30° et peut parfois atteindre 60° ou même 90°. (1)

L'émail prismatique et l'émail interprismatique ont une composition minérale identique. Ils diffèrent cependant par l'orientation des cristallites (celles-ci forment un angle de 60° par rapport au grand axe du prisme) et par la concentration en matrice organique, qui se trouve être plus importante dans l'émail interprismatique. (1)(5)

Chaque prisme contient une tête et une queue. Autour de la tête, l'espace intercristallin est plus important et le matériel organique s'y accumule, formant à la frontière du prisme la substance interprismatique, ou gaine du prisme. (5)

- L'émail aprismatique :

Les émail aprismatique interne et externe correspondent aux deux extrémités fines (20-30 microns) de l'émail, encerclant ainsi l'émail prismatique. (7)

Cet émail correspond à la phase pré-sécrétoire (émail aprismatique interne) et post sécrétoire (émail aprismatique externe). En effet, avant de cesser leur activité sécrétrice, les améloblastes voient leur métabolisme changer, les prismes disparaissent donc juste avant la surface dentaire.(5)(7)



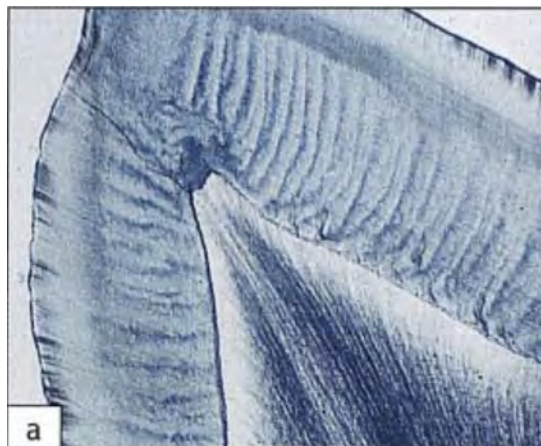
*Figure 3 : Coupe au MEB au niveau de la couche aprismatique externe (5)*

1.1.1.3 Structure secondaire

- Stries de Retzius

L'apposition de l'émail par les améloblastes, se fait de façon incrémentale, créant ainsi des stries concentriques d'environ 25 microns, en section longitudinale, observables en section transversale, appelées stries de Retzius. Elles correspondent au point atteint par les améloblastes après un temps déterminé de leur activité fonctionnelle. (5)

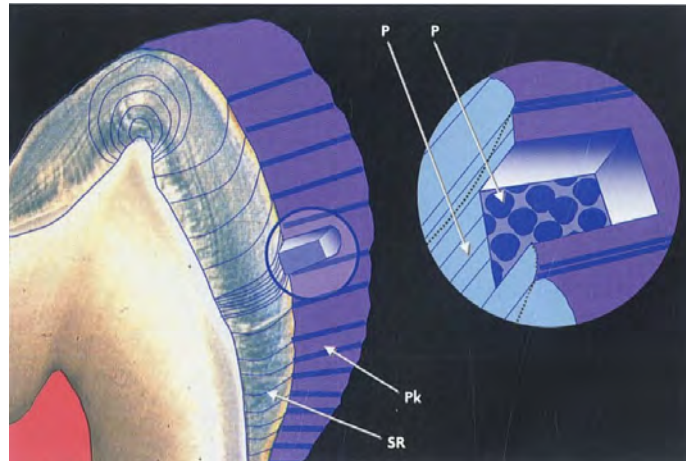
Une légère torsion des prismes d'émail est présente après chaque stries participant à la dissipation des contraintes. (2)



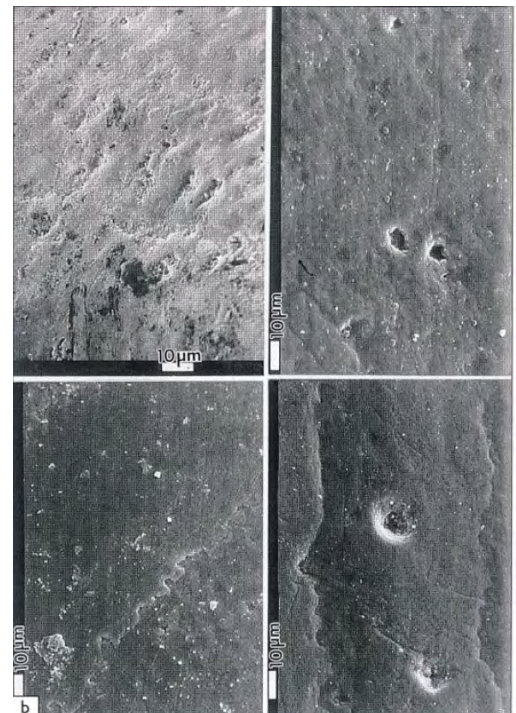
*Figure 4 : Orientation des stries de Retzius sur une coupe calcifiée d'émail humain (5)*

- Périkymaties

A l'extrémité des stries de Retzius, les périkymaties dépriment la surface amélaire en formant des sillons à intervalles plus ou moins réguliers. Ils sont visibles sur l'émail jeune qui n'a pas encore subi d'érosion et d'abrasion. (5)



*Figure 5 : Schématisation de l'architecture de l'émail. P : prismes ; SR : Stries de Retzius ; Pk : Périkématies (5)*



*Figure 6 : a. Vue MEB de la surface de l'émail avec la présence de nombreux défauts et irrégularités de surface de l'émail. b. Ces défauts peuvent favoriser la croissance des biofilms (5)*



#### 1.1.1.4 Vieillessement

Après l'éruption, des échanges ioniques entre la structure cristalline et l'environnement se produisent tout au long de la vie. L'émail évolue également du fait de l'usure physiologique sur sa surface et son aspect se modifie. (5)(9) L'élimination partielle ou totale de la couche d'émail aprismatique est de l'ordre de 15µm pour les prémolaires et de 29µm pour les molaires.(8) Les dents développent un aspect plus sombre, en raison de l'amincissement de l'émail, du dépôt de dentine secondaire, de l'accumulation d'éléments minéraux et d'agents colorants. (9)

Avec l'âge l'émail devient moins soluble et moins perméable du fait de l'augmentation de la concentration de fluorures ce qui permet une augmentation de la résistance naturelle à la carie. (5)

#### 1.1.1.5 Fonction

L'émail est un tissu hautement résistant. Les charges s'y exerçant au cours de la mastication excèdent rarement 5 à 8 kg mais se répètent et se cumulent. (10)

Sa structure cristalline et son organisation spatiale spécifique associées à son support dentinaire et alvéolaire, lui confèrent des propriétés mécaniques accrues. Cela lui permet de résister, sans se fracturer, aux contraintes lors de la mastication et ce pendant une vie entière, en distribuant des contraintes au support. (11)

Les recherches cliniques ont montré des propriétés mécaniques de l'émail plus proches de celles des alliages que celles des céramiques. (12) Il serait alors préférable de remplacer l'émail par des matériaux esthétiques qui évoluent vers les propriétés des alliages tout en développant une meilleure biocompatibilité de ceux-ci.

#### 1.1.1.6 Cycle de déminéralisation-reminéralisation

L'espace inter-cristallin est occupé par la matrice organique et l'eau, il permet des échanges entre le milieu buccal et le milieu interne de la pulpe. La diffusion des ions et des molécules de bas poids moléculaires au travers de l'émail permet le passage de substances physiologiques, pathologiques et thérapeutiques. (1)(5)

Des échanges ioniques de phosphate de calcium et de fluor s'effectuent en fonction du pH environnant. Lorsque le pH descend en dessous de 6, l'hydroxyapatite se dissout et les ions s'échappent : c'est la déminéralisation. Quand le pH remonte au-delà de 6, la perte minérale est compensée par une précipitation de cristaux phosphocalciques à partir d'ions concentrés au sein de la salive et du biofilm : c'est la reminéralisation. Ce cycle de reminéralisation-déminéralisation est le fondement physico-chimique de l'apparition et de la progression des caries ou de leur stabilisation et réparation. (13)

Lors de l'application topique de fluor, les ions fluorures vont venir précipiter au sein des cristaux et se substituer aux radicaux hydroxyles, illustrant la perméabilité de l'émail. Cela augmente la résistance de l'émail à la déminéralisation (14)

#### 1.1.1.7 Email carieux

L'émail déminéralisé a un aspect de tache blanche, à proximité d'un dépôt de plaque. Cette déminéralisation altère la surface, qui devient microporeuse et qui lui confère son aspect opaque et mat, caractéristique des white spots (tâches blanches). Un élargissement et une dissolution se forment au niveau de la gaine du prisme et s'étendra au niveau du corps du prisme puis de la substance interprismatique. (16)

La déminéralisation de l'émail provoque une altération de sa micro-structure rendant le potentiel d'adhérence plus faible que celui du tissu amélaire sain. (15)

#### 1.1.2 La dentine

La dentine recouverte par l'émail en périphérie et par le cément au niveau radiculaire, constitue le tissu prédominant de la dent. Elle est en étroite relation avec la pulpe par l'intermédiaire de prolongements odontoblastiques qui la traversent ; c'est ce qu'on appelle le complexe pulpo-dentinaire. Toute incidence sur la dentine aura des répercussions sur la pulpe.

La dentine est un tissu formé par les odontoblastes lors de la dentinogénèse, c'est un tissu conjonctif d'origine mésenchymateuse, minéralisé, non vascularisé mais innervé.

Contrairement à l'émail, par l'intermédiaire de cellules sécrétrices spécialisées que sont les odontoblastes, la dentine est en perpétuel remaniement. En effet, les odontoblastes peuvent sécréter trois types de dentine :

- La dentine primaire : du développement de la dent jusqu'à l'édification radiculaire.
- La dentine secondaire : de l'édification radiculaire jusqu'à la fin de vie. Elle est physiologique.
- La dentine tertiaire :
  - dentine réactionnelle : grâce aux odontoblastes primaires.
  - dentine de réparation : grâce aux odontoblastes secondaires.

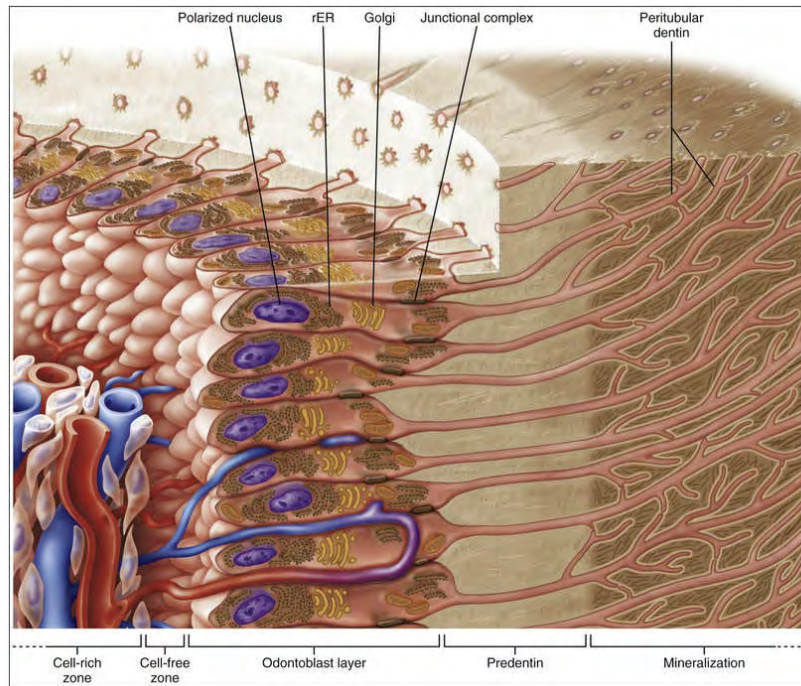


Figure 7 : Schéma du complexe pulpo dentinaire. (19)

### 1.1.2.1 Composition

La dentine possède un tissu moins minéralisé que celui de l'émail, mais plutôt similaire au tissu osseux. En effet, elle se compose d'une phase organique (20 %), aqueuse (10%) et minérale (70%) sous forme de cristaux d'hydroxyapatite riches en carbonates et magnésium. (17)(18)

La matrice organique contient 90% de collagène et 10% de matériel non collagénique ce qui lui confère une stabilité importante et une grande résistance à la dissolution acide. (17)

Cela influence négativement l'adhésion : il est plus compliqué d'infiltrer une résine hydrophobe au sein même d'un tissu particulièrement hydrophile.

Phase	Émail		Dentine		Cément		Os
	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids
Minérale	96,0	87,0-91,0	70,0	45,0-50,0	65,0-72,0	45,0	= 75 %
Organique	0,4	2,0	20,0	30,0	20,0	30,0	= 25 %
Aqueuse	3,6	7,0-11,0	10,0	25,0	10,0	25,0	

Figure 8 : Tableau comparant les tissus minéralisés de la dent (17)

### 1.1.2.2 Structure

La dentine est perforée dans son intégralité par des tubulis dentinaires, de la pulpe jusqu'à la périphérie dentinaire. Ces tubulis abritent des odontoblastes dont le corps se situe à l'extérieur de la dentine, côté pulpaire.

- Dentine périphérique

Au niveau périphérique, la dentine est constituée par le manteau dentinaire résultant des premières sécrétions odontoblastiques. C'est une couche de dentine hypominéralisée, s'étendant sur une épaisseur de 20µm en moyenne. Elle est dépourvue de canalicules dentinaires et est au contact avec la zone la plus interne de l'émail. Ces zones d'hypo-minéralisation sont des zones de faiblesse causant la dissipation de contraintes transmises par l'émail (20)

- Dentine circumpulpaire

Elle correspond à la dentine primaire et secondaire, qui sont canaliculaires.

Elle contient une zone moins minéralisée située sur la partie la plus interne, tant au niveau intercanaliculaire que péricanaliculaire, à proximité du front de minéralisation prédentine-dentine. Cette zone de moindre minéralisation a une largeur qui varie en fonction de l'âge : elle sera mieux différenciée sur la dent jeune que sur la dent adulte. A son niveau le rapport de surface entre les canalicules et la dentine intercanaliculaire est élevé. (17)

Ces structures permettent de réduire la perméabilité canaliculaire.

Ces canalicules encerclent la dentine péricanaliculaire qui résulte de la sécrétion de composants matriciels par l'intermédiaire des prolongements odontoblastiques des canalicules.

Entre les troncs principaux, se présente la dentine intercanaliculaire, qui est moins minéralisée et qui résulte de la minéralisation de la prédentine.

Au sein de la prédentine, il existe un réseau canaliculaire latéral, provenant de ramifications secondaires, permettant des échanges. Plus le nombre de canalicules augmente et plus le réseau canaliculaire latéral grandit. (21)

Les tubulis ne sont pas répartis en proportion identique sur la totalité de l'épaisseur dentinaire.

Tiers dentinaire / Niveau situation	Occlusal	Cuspide	Mi-couronne	Jonction cémentodentinaire
Externe	8 000	20 000	10 000	10 000
Moyen	32 000	36 000	32 000	29 000
Interne	58 000	58 000	48 000	48 000

*Figure 9 : Tableau de répartition des canalicules dentinaire au niveau de la dent (17)*

Le diamètre des canalicules augmente en direction pulpaire, passant d'environ 0,5µm à la jonction amélo-dentinaire à 3µm à proximité de la pulpe. (17)

Tout comme l'émail, la plus faible épaisseur dentinaire se trouve en périphérie, plus particulièrement au niveau des sillons occlusaux, tandis que l'épaisseur la plus élevée se trouve au niveau des cuspidés. Les prolongements dentinaires sont plus nombreux au niveau du tiers interne dentinaire, lieu principal des échanges dentino-pulpaire.

- Dentine tertiaire

La dentinogénèse est arrêtée après une agression ( caries, traumatismes, abrasions...) et reprend sous la forme d'une dentinogénèse cicatricielle formant la dentine tertiaire.

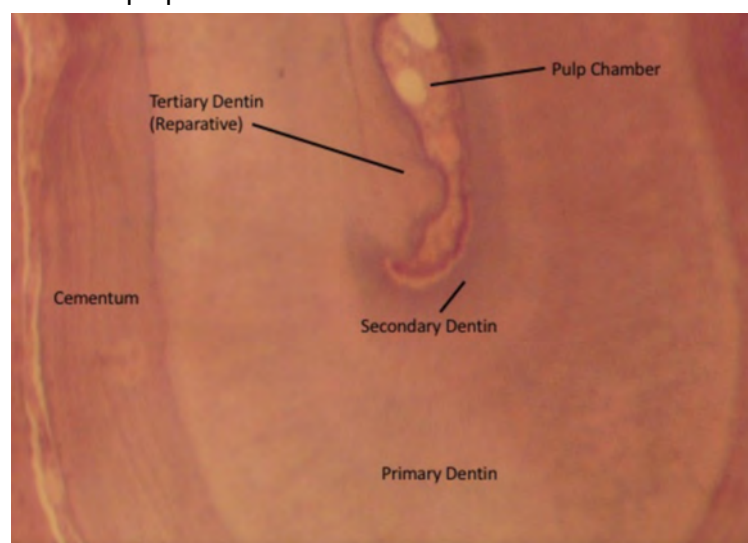
Des stimuli plus forts entraînent la mort des odontoblastes et l'initiation de processus complexes impliquant le recrutement de cellules souches/progénitrices de la pulpe dentaire.

Il existe deux types de dentine tertiaire selon l'intensité de l'agression (22) :

- La dentine réactionnelle, sécrétée par des odontoblastes de type canaliculaire ayant survécu à l'agression. Elle est élaborée après un stimulus modéré (caries superficielles, caries à progression lente ...). Son dépôt s'effectue de façon lente et sa structure ressemble à la dentine physiologique.
- La dentine réparatrice, sécrétée par des néo-odontoblastes mis en place lors de la destruction des odontoblastes post-mitotique (primaires). Elle est élaborée en cas d'agression sévère (carie profonde, carie à avancée rapide...). Elle est édifiée rapidement et dépourvue de canalicules.

Des théories alternatives montrent qu'il existe également une production de tissu minéralisé par le biais d'autres cellules telles que les fibroblastes ou les fibrocytes. (23)(25) Il serait même probable que dans une lésion carieuse profonde, les deux processus se produisent simultanément, en particulier à la périphérie de la cavité (24).

L'apposition continue de dentine secondaire amène à la réduction progressive mais non homothétique du volume pulpaire.



*Figure 10 : Coupe transversale du 2/3 coronaire, montrant les différents types de dentine (26)*

### 1.1.2.3 Dentine sclérotique

Contrairement aux améloblastes, les odontoblastes permettent la synthèse dentinaire durant toute une vie dentaire. Cette dentinogénèse ralentie après l'éruption et la maturité dentaire.

Avec l'âge, les odontoblastes finissent par dégénérer laissant les canalicules vides. Avec le vieillissement les canalicules se minéralisent, par l'apposition d'hydroxyapatite, phénomène appelé sclérose dentinaire. Cette sclérose du tissu est accentuée par la minéralisation de la dentine péricanaliculaire et intracanaliculaire, provoquant la diminution du diamètre canaliculaire. (9)(17)

Cette dernière diminue ainsi les succès d'un meilleur collage en réduisant l'action de l'acide orthophosphorique lors du mordantage. (27)

La sclérose des tubules dentinaires liée à l'âge et la réduction du volume de la chambre pulpaire ont également été associées à une réduction de la sensibilité pulpaire chez les patients âgés. La dentine des dents jeunes présente des lumières tubulaires nettement ouvertes tandis que la majorité des tubules des dents anciennes sont complètement remplis de minéraux, diminuant ainsi les échanges pulpo-dentinaire. (9)

### 1.1.2.4 Dentine carié

Le tissu carieux se compose de 4 zones différentes, avec seulement 3 couches cliniquement perceptibles : (28)

- La couche externe : elle correspond à la dentine molle, la plus déminéralisée, nécrotique avec un biofilm microbien attaché. Elle possède des bactéries aciduriques et anaérobies lui conférant un faible potentiel d'oxydoréduction, exigeant un renouvellement rapide du substrat pour une ressource énergétique suffisante. Dû fait de sa situation externe, elle présente un approvisionnement en glucides alimentaires à des concentrations élevées.

Cette couche doit être systématiquement enlevée car cet état est irréversible.

- Couche déminéralisée : Correspond à la dentine affectée, caractérisée par la présence de peu de micro-organismes, peu de nutriments (car déjà consommés par les bactéries et les levures de la couche externe) ainsi qu'une atmosphère strictement anaérobie. Ce milieu favorise la déminéralisation par une production d'acides, mais le faible nombre de bactéries et de nutriments interdisent la prolifération importante de tout micro-organismes..

Il est admis qu'il est préférable de conserver toutes couches dépassant radiographiquement le tiers ou le quart interne (pulpaire) de la dentine. L'élimination sélective doit être limitée à la dentine molle, excluant cette dentine affectée. (29)

En effet, cette dentine, du fait de son état réversible, conserve un potentiel de reminéralisation.

- Dentine transparente ; elle présente une faible déminéralisation par l'intermédiaire des acides, mais ne présente pas de cellules bactériennes, qui ne pénètrent pas à cette profondeur. Cette couche n'est pas absolument stérile, mais le métabolisme des micro-organismes aciduriques est presque impossible et donc négligeable. C'est une zone d'aspect sclérotique, à la suite de la minéralisation des canalicules.

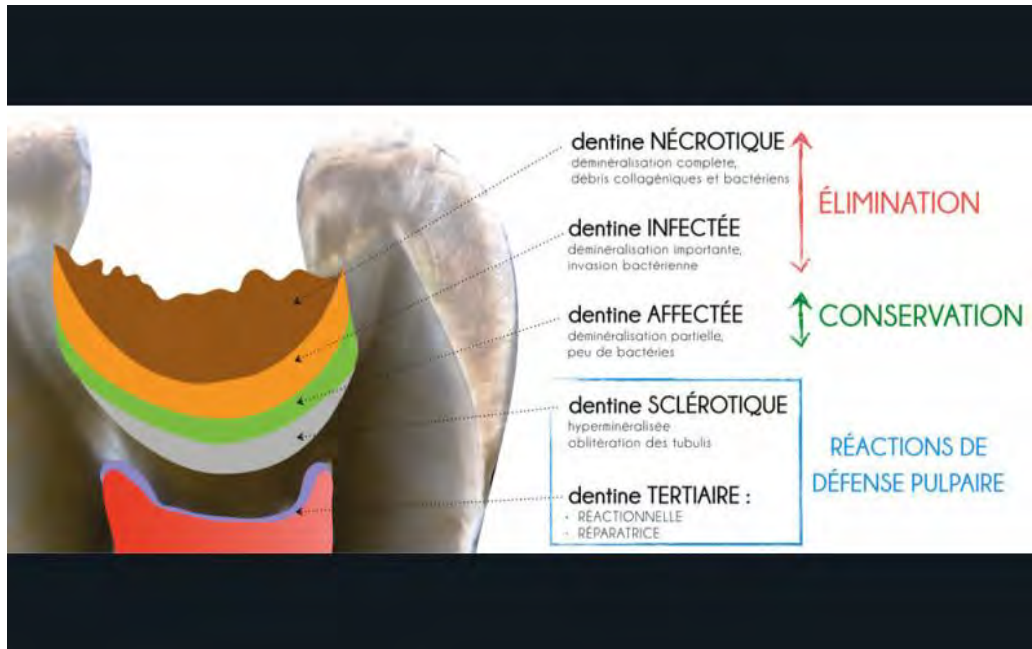


Figure 11 : Schéma des différentes zones dentinaires dans une cavité carieuse (30)

## 2. Caractéristique d'un point de contact

### 2.1 Le point de contact

Le point de contact correspond par définition à la convexité située sur les faces coronaires mésiale et distale, permettant le contact entre deux dents adjacentes.(31)

Les dents sont organisées en arcades. Les surfaces proximales de deux dents adjacentes s'articulent par l'intermédiaire d'un point de contact qui est défini comme étant l'intersection de surfaces distinctes appartenant à deux dents voisines d'une même arcade dentaire.(32)

Les contacts proximaux entre deux dents adjacentes sont du côté mésial, plus proche du bord incisif (pour les dents antérieures) ou de la face occlusale (pour les dents cuspidées), que du côté distal.(31)

Ce point de contact s'effectue dans le tiers vestibulaire et le tiers incisif pour les dents du bloc incisivo-canin.

En ce qui concerne les dents cuspidées, il sera situé dans le sens :

- vestibulo-linguale à la jonction entre le  $\frac{1}{3}$  vestibulaire et le  $\frac{1}{3}$  médian.
- Occluso-cervicale à la jonction entre le  $\frac{1}{3}$  occlusale et le  $\frac{1}{3}$  médian
- Pour les contacts entre la première et deuxième molaire maxillaire, dans le  $\frac{1}{3}$  médian dans le sens occluso-cervicale comme le sens vestibulo-linguale.

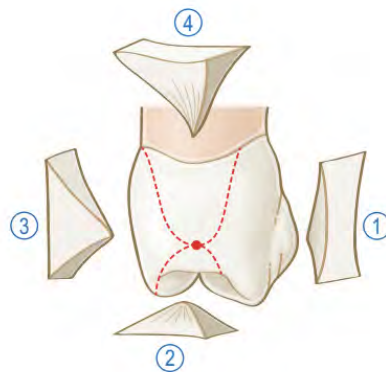
Le point de contact interdentaire évolue avec l'âge et en fonction des dents concernées.

Il est soumis à des phénomènes d'attrition interproximale. La laxité des fibres desmodontales autorisant de petits déplacements d'une dent contre une autre, le contact proximal, punctiforme lors de la mise en place des dents sur l'arcade, devient progressivement surfacique avec l'âge en se transformant en surface de contact.

## 2.2 Les embrasures

L'espace inter-dentaire est un espace physique entre deux dents adjacentes, comprenant le point de contact au centre, avec autour quatre volumes qui ont chacun une forme de pyramide : ce sont les embrasures

- (1) vestibulaire ;
- (2) linguale ;
- (3) occlusale, dont le point de contact représente la limite cervicale.
- (4) cervicale ou gingivale, dont le point de contact représente la limite occlusale ;



*Figure 12 : schéma d'une représentation de l'espace interdentaire (35)*

Ces embrasures permettent la déflexion du bol alimentaire et la protection de la papille interdentaire. L'embrasure cervicale permet l'évacuation des débris alimentaires pour leur éviter de stagner au niveau de la zone cervicale et de causer ainsi des septites. (35)

La crête marginale occupe également un rôle important dans la mastication, en participant par son versant externe à la morphologie des embrasures occlusale, vestibulaire et linguale.

Par son versant interne, elle permet la déflexion du bol alimentaire vers le centre de la table occlusale.

L'embrasure cervicale ou gingivale est occupée par la papille gingivale interdentaire, constituée d'une portion vestibulaire et d'une portion linguale reliées par le col gingival.



### 2.3 La papille

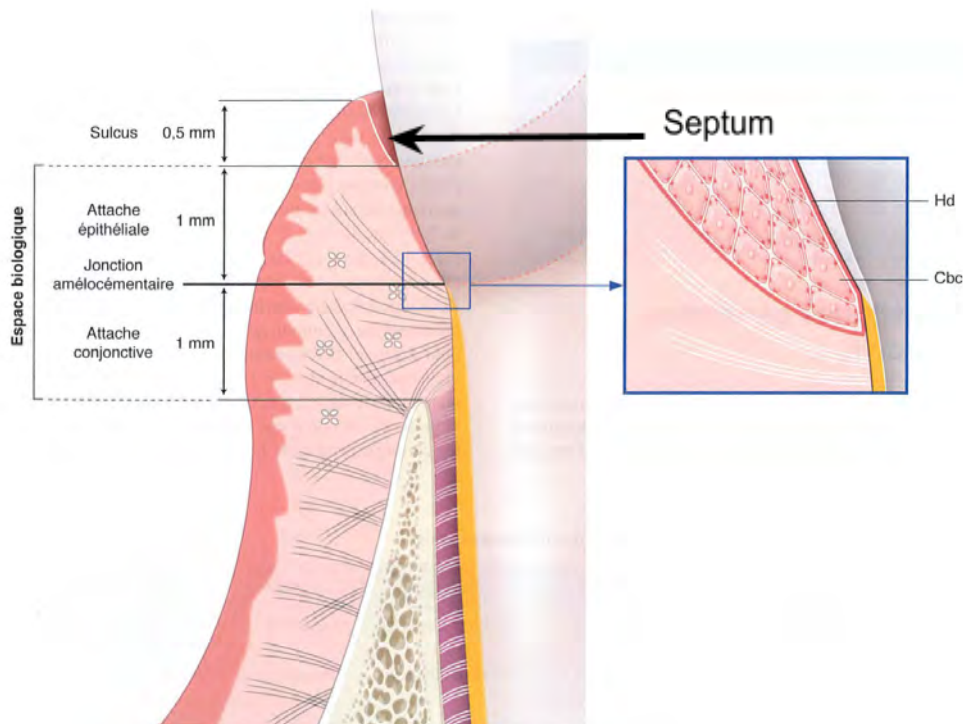
La papille correspond à la gencive interdentaire présente entre deux dents adjacentes et sous les zones de contact. Le versant vestibulaire fusionne avec le versant palatin/lingual pour former coronairement le col qui épouse le contour apical de la zone de contact interdentaire.(33)

Le col de la papille est non kératinisé. Le corps de la papille est en continuité avec la gencive attachée et en présente ainsi ses caractéristiques. (33)

Chez le sujet jeune, la papille s'adapte intimement aux parois proximales des dents adjacentes jusqu'en dessous du point de contact. Chez le sujet plus âgé, l'espace interdentaire tend à être déshabité : la papille s'affaisse en se courbant et la crête osseuse alvéolaire interdentaire sous-jacente s'émousse en entraînant les attaches épithéliales et conjonctives avec elle. (32)

### 2.4 Le septum

Le septum correspond à l'os situé sous l'espace biologique et entre deux racines adjacentes. Celui-ci est protégé par la papille interdentaire. (34)



*Figure 13 : Schéma représentant le système d'attache sain d'une dent (34)*

## 2.5 Syndrome du septum

L'existence d'un espace sous la zone de contact peut entraîner un préjudice esthétique, des problèmes phoniques et un bourrage alimentaire. (36)

En effet, le point de contact comme vu au dessus, permet la déflexion alimentaire. Si celui-ci n'est pas présent (caries interproximales ou autres pathologies dentaires...) la fonction de déflexion n'est plus possible. Un bourrage alimentaire se constituera et une inflammation interdentaire surviendra : c'est le syndrome du septum. (38)

Le syndrome du septum correspond à l'inflammation des tissus interdentaires; en commençant par la papille, puis si le problème n'est pas résolu, s'attaquant à l'os alvéolaire et entraînant la destruction du septum osseux.(39) Cela aura une répercussion sur l'esthétique et une incidence sur l'alimentation, en provoquant davantage de bourrages alimentaires. (37)

Il existe d'autres rôles attribués au point de contact : guidage des dents lors de l'éruption dentaire, protection de la papille dentaire, répartition des forces, esthétique ... Cette thèse ne s'attardera pas sur ces dernières.

## 2.6 Vérifier un point de contact

Pour vérifier un point de contact, le plus simple est à l'aide de fil dentaire.

En effet, si celui-ci passe trop facilement, sans se fragmenter, le point de contact n'est pas présent. Si le fil passe difficilement en se fragmentant, le point de contact n'est pas ponctuel ou non lisse. Et pour finir, lorsque celui glisse avec une légère résistance, et un léger bruit au franchissement en ressortant sans se déchirer, alors le point de contact est correct. (38)(40)

Il est également important de réaliser une rétro-alvéolaire afin de vérifier le profil d'émergence de notre restauration. (41)

### **3. Méthodes de reconstitutions d'un point de contact**

#### **3.1 Méthode directe**

Il est très important de reproduire un bon point de contact anatomique malgré la difficulté que cela représente. En effet, un mauvais contact entraîne généralement un bourrage alimentaire, une maladie parodontale et un déplacement dentaire. (48)

Avant toute technique de micro-dentisterie restauratrice, il est important de mettre en place un champ opératoire (digue), maintenu par un crampon mis en place par une pince de Brewer, permettant d'isoler la dent de la cavité buccale. Cela empêche ainsi l'inhalation d'instruments, réduit la fatigue visuelle du praticien et autorise un protocole d'adhésion optimal grâce à l'isolation du milieu humide buccale. Il est cependant primordial de prendre la teinte de la dent en amont de la pose de la digue. En effet, cette dernière s'éclaircit après la pose du champ opératoire du fait de la déshydratation de la dent privée de la salive(42)

Si nécessaire, il est possible d'améliorer l'isolation par l'utilisation de ligatures de fil dentaire, de digues liquides, de Wedjets, de téflon...

Pour la restauration de cavités de classe II, il sera nécessaire d'utiliser un système de matriçage; avec une matrice, un coin mainteneur permettant de recréer notre embrasure et un anneau permettant de courber la matrice, de la plaquer contre la dent et d'écarter les dents. Ceci afin de réaliser un composite avec un bon profil d'émergence et un point de contact fonctionnel.

##### **3.1.1 Biomimétisme**

Le biomimétisme en odontologie correspond à l'étude histo-anatomique de la dent dans le but de la reproduire par l'intégration naturelle des biomatériaux, mimant ou émulant au plus proche son comportement physiologique. (128)

L'objectif sera d'avoir la restauration mimant au mieux les caractéristiques de la dent naturelle. Ainsi, d'un côté nous avons la dureté de l'émail permettant la protection de la dentine sous-jacente, qui elle-même aura une flexibilité permettant de compenser la fragilité relative de l'émail. Ces propriétés confèrent à la dent naturelle des caractéristiques uniques puisqu'elle va être capable de supporter des contraintes physiques et chimiques tout au long de la vie. (129)

Ainsi, l'opérateur devra remplacer l'émail usé, altéré ou absent par un biomatériau aux propriétés mécaniques se rapprochant au plus des tissus dentaires sous-jacents. Les conséquences d'une inadéquation biomécanique, relevant d'un manque de biomimétisme peuvent être délétères pour la survie de l'organe dentaire et a fortement été documenté dans la littérature. (130)

### 3.1.2 Économie tissulaire.

Un traitement dentaire a pour objectif de maintenir le plus longtemps possible la dent sur l'arcade. Cependant, aucune restauration dentaire à l'heure actuelle n'est définitive, mais bien d'usage. En tant que praticien, nous intervenons en permanence sur des anciennes restaurations où l'objectif est de restaurer tout en minimisant la préparation supplémentaire, ceci de façon répétitive. Chaque cycle entraîne un délabrement plus important de la dent et la rapproche de manière irrémédiable de l'extraction. Pour tenter de réduire cela, nous retarderons le plus possible la restauration en associant la prévention, les techniques de reminéralisation de la carie débutante ainsi que la pratique du curetage sélectif. (131)

### 3.1.3 Procédé clinique de la méthode directe

#### 3.1.3.1 Préparation tissulaire

Afin de reproduire le point de contact comme nous l'avons étudié en haut, il faudra analyser la dent adjacente de façon à garantir la moitié du résultat de notre traitement.

Nous commencerons par l'aménagement cavitaire de notre préparation, ceci par l'excavation de la carie, la dépose de l'ancienne restauration mais aussi l'aménagement d'une forme anatomique optimale de la cavité à restaurer. Cela se fera à l'aide d'instruments rotatifs sur turbine et contre-angle. Il sera préférable d'ouvrir la zone de contact lorsqu'elle est concernée par la préparation cavitaire. Cela permettra une meilleure adaptation de la matrice et permet de rendre accessible l'interface entre la dent et la restauration composite. Cela assure un meilleur contrôle de la restauration et retarde son vieillissement.

Il sera important de travailler avec une matrice métallique afin de protéger la dent adjacente. Il est également possible de travailler avec des inserts diamantés actifs sur un seul côté afin de protéger la dent adjacente.

Certains auteurs relèvent 69% de dents endommagées lors des préparations de classe II. (132)

#### 3.1.3.2 Mise en place du système matricielle

Les études publiées jusqu'à présent soutiennent que pour les restaurations de classe II en méthode directe, la matrice sectionnelle avec anneaux fournit des zones de contact plus anatomiques et plus solides qu'une matrice circonférentielle. (45)(46)(47)

Il existe plusieurs types de matrices de type métalliques ou transparentes. Ces dernières permettant une bonne visibilité et une excellente diffusion des lumières UV, laissant penser à une meilleure photopolymérisation. Cependant, des études ont montré que la focalisation de la lumière UV dans les matrices métalliques permettait une photopolymérisation améliorée par l'intermédiaire de la focalisation de la lumière UV. (43)

Nous commencerons par placer une matrice métallique au niveau du point de contact à réaliser. La bonne adaptation de la matrice permettra la pérennité de la restauration composite en assurant l'étanchéité de la cavité.

Il sera important de choisir la matrice la mieux adaptée à la dent et à la cavité compte tenu du manque d'accès instrumental pour les finitions.

Il n'existe pas d'étude comparant les différents systèmes, leur choix se fera en fonction du souhait du praticien, du prix et de la situation clinique.

On choisira cliniquement notre matrice de sorte à ce qu'elle mesure la hauteur de la crête marginale, tout en s'infiltrant dans le sulcus.

Il faudra vérifier que la matrice ne pince pas la digue ou la gencive et qu'il existe une réelle conformité entre la dent et la matrice.

Lorsque l'objectif est de restaurer deux cavités interproximales adjacentes il faudra mettre une matrice en face de chaque cavité. Cela a pour but d'éviter qu'une des deux restaurations empiète sur l'espace anatomique de la dent d'à côté.

### 3.1.3.3 Coin mainteneur

Avant d'insérer le coin mainteneur avec la matrice, compte tenu de la diversité des dents, il faudra dans un premier temps essayer le coin seul. On y vérifiera l'adaptation avec l'anatomie de la dent.

Il faudra placer le coin sous la limite cervico-proximale, entre la matrice et la dent adjacente de manière à plaquer la matrice contre la dent à soigner afin d'obtenir une bonne adaptation marginale.

Cela permettra la reproduction du point de contact et la continuité entre la dent et le composite.

La reproduction appropriée de la concavité proximale dépend en grande partie de la forme et de la relation de la matrice sectionnelle et du coin correspondant.(133)

Il existe une multitude de coins et aucune étude n'a montré la supériorité de l'un d'eux.

Il faudra contrôler l'adaptation du coin, de sorte qu'il soit maintenu et qu'il ne se mette pas entre la dent à traiter et la matrice censée être plaquée contre notre zone proximale à traiter. (134)

### 3.1.3.4 . Choix de l'anneau séparateur

L'anneau a pour rôle l'écartement des dents adjacentes afin de compenser l'épaisseur de la matrice. On vérifiera l'adaptation de la matrice après la pose de l'anneau. L'adaptation de celle-ci peut être améliorée par l'utilisation de Téflon ou de digue liquide.

Il existe de nombreux anneaux séparateurs commercialisés par différents fournisseurs. Nous allons voir dans cette thèse, les plus importants fournisseurs du marché.

#### 3.1.3.4.1 Garisson (44)

Garrison® est une entreprise familiale produisant des systèmes matriciels pour les restaurations de points de contacts.

- Anneaux Composit-Tight 3D Fusion



*Figure 14 : Composit-Tight® 3D Fusion™ Kit des 3 anneaux (44)*

Ils seront utilisés pour la majorité des restaurations.

Il existe 3 tailles :

- **Bleu** : Pour les prémolaires, en pédo, dents courtes et mal positionnées.
- **Orange** : Pour les molaires, les dents hautes ou pour superpositionner avec l'anneau bleu pour les restaurations MOD.
- **Vert** : Pour les restaurations de grandes étendues.

Ces anneaux ont une bonne prise en main et leur superposition permet la restauration de cavités MOD.

- Le système 3D XR Composi-Tight®



*Figure 15 : Anneau 3D XR Compo-Tight (44)*

L'anneau 3D XR bleu a repris tous les avantages de l'anneau 3D orange original et les a développés. La conception de l'embout améliore les résultats sur les dentures difficiles.

- Anneaux Composi-Tight® 3D Matrix

→ **Soft Face™ 3D-Ring**



*figure 16 : Anneau Soft Face 3D Ring (44)*

Utilisé dans la plupart des circonstances. Facile à placer et s'adapte à une grande variété d'anatomies dentaires. Son silicone souple épouse les surfaces axiales des dents à restaurer et empêche la fusée du matériau de restauration, synonyme de gain de temps et de précision lors des finitions.

→ Thin Tine G-Ring®



*Figure 17 : Anneau Thin Tine G-Ring (44)*

Celui-ci est utilisé lorsque l'anneau 3D Soft Face™ ne peut pas être utilisé pour des raisons anatomiques ou lorsque la denture ne le permet pas. Les extrémités brunies de cet anneau à dents fines s'adapteront et se maintiendront plus facilement.

- Anneaux G-Rings Composi-Tight® Long



*Figure 18 : Anneau G-Rings Composi-Tight Long (44)*

Selon le fournisseur, la transparence de l'anneau séparateur au niveau de ses grips permettrait d'améliorer la polymérisation des surfaces vestibulaires et linguales.

La taille de l'anneau lui-même a été sensiblement réduite ; il résiste beaucoup mieux à la chaleur et aux agents chimiques.



- Anneaux G-Rings Composi-Tight® Original



*Figure 19 : Anneau GRings Composi Tight Long(44) Figure 20 : Anneau G-Rings Composi-Tight Standard (44)*

Il s'agit du premier système d'anneau écarteur de la marque Garrison®. C'est un anneau en acier inoxydable permettant une séparation suffisante entre les dents pour obtenir des contacts étroits anatomiques, ainsi que de maintenir les matrices bien en place lors de la restauration.

Il existe en deux tailles: standard et couronne longue, selon la situation clinique.

- Anneaux Composi-Tight Gold® G-Ring



*Figure 20 : Anneau Gold G-Rings Standard (44) Figure 21 : Anneau Gold G-Rings Long (44)*

Les Anneaux Gold G-Rings sont des améliorations des anneaux originaux, permettant une augmentation de la force de séparation des dents adjacentes entraînant ainsi une plus grande force du point de contact interdentaire.

Ils sont plus résistants pour conserver leur solidité et durer deux fois plus longtemps. Ils existent sous deux longueurs différentes selon la taille de la dent à restaurer. Il sera possible de superposer les anneaux pour les restaurations MOD et les restaurations de dents multiples.

### 3.1.3.4.2 Bioclear (49)

- TwinRings

Bioclear commercialise 2 anneaux anatomiques TwinRings, qui s'adaptent à une variété de types et de formes de dents. Ils proposent une force d'écartement importante et constante.

Les anneaux contiennent 4 mors indépendants qui s'adaptent à toutes les particularités et variations anatomiques des dents postérieures.

Ils existent sous deux formes et couleurs :

- **Jaune** : pour le secteur prémolaire.
- **Violet** : pour le secteur molaire.



*Figure 22 : Anneaux TwinRing (49)*

- winRings universels

Ces anneaux s'adaptent à une multitude de types et de formes de dents ; molaires courtes, prémolaires courtes, molaires temporaires...

La conception structurelle du TwinRing Universal lui permet d'avoir une excellente mémoire de forme permettant de conserver sa forme d'origine sans se déformer, même après des centaines ou des milliers d'utilisations.



*Figure 23 : Anneau TwinRings universels (49)*

- Bioclear Evolve Posterior Matrix Series



*Figure 24 : Bioclear Evolve Matrix (49). Figure 25 : Mesure de l'embrasure avant restauration(127)*

Ce système permet la reproduction d'un point de contact grâce à l'utilisation de matrices adaptées à un type de dent bien précis. En effet, il existe des matrices bleues (profil d'émergence convexe) de 5 hauteurs différentes, des matrices oranges (profil d'émergence intermédiaire) de 3 hauteurs différentes et des matrices roses (profil d'émergence plat) de 3 hauteurs différentes. Il existe un léger retour cervical permettant de reproduire la crête marginale et réduire les risques de surcontours. Le choix des matrices se fait à l'aide d'une jauge (figure 25) permettant la mesure de la hauteur proximale cavitaire et de la largeur de la zone proximale.

L'utilisation de ces matrices se fait avec des coins écarteurs et des anneaux pour avoir le point de contact le plus efficace possible.

### 3.1.3.4.3 Polydentia

- MyClip 2.0



Il garantit une force de séparation optimale assurant la création de points de contact lors de la restauration de cavités de classe II, le rendant compatible avec toutes les conditions cliniques. Il ne nécessite aucune pince et se place à la main. Les embouts en plastique peuvent être changés, conférant à l'anneau une durée de vie plus importante et s'adaptant à différentes hauteurs de dents ou largeurs de cavités. (50)

*Figure 26 : Anneau MyClip 2.(50)*

- myRing Forte



*Figure 27 : Photographie Anneau MyRing Forte ( Dahmane Hadj)*

Cet anneau s'adapte aux dents avec différentes hauteurs de couronne et aux préparations de cavités larges grâce à ses extrémités. Les extrémités en plastique peuvent être remplacées afin de tenir dans la durée. Il doit être utilisé avec une pince.

- MyRing classico



*Figure 28 : Anneau MyRing classico (50)*

Cet anneau classique en nickel titane renforcé offre une force d'écartement, à la fois douce et optimale. Il s'utilise en combinaison avec des coins interdentaires en bois. Tout comme les autres anneaux, les extrémités en plastique peuvent être remplacées.

#### 3.1.3.4.4 Palodent



*Figure 29 : Anneaux Palodent V3 (51)*

C'est un système de matrice sectionnelle avec un anneau en Ni-Ti permettant de reproduire le point de contact de façon étroite pour des restaurations reproduisant précisément l'anatomie naturelle de la dent. (51)(52)

Il existe deux types d'anneaux :

- **Anneaux universels (bleu clair)** : superposables pour de multiples restaurations et s'adaptant à la majorité des dents.
- **Anneaux étroits (bleu foncé)** : pour la séparation des plus petites dents. Ils présentent des extrémités utilisables sur les prémolaires et les petites molaires.

### 3.1.3.5 Obturation

Nous commencerons par la réalisation du mur proximal afin de retrouver l'anatomie du contact proximal. Après une première photopolymérisation, le retrait de la matrice peut être effectué afin de photopolymériser de nouveau, et en optimiser le résultat.

Une fois le mur proximal réalisé, nous aurons transformé notre cavité de Classe II en une Classe I (cavité occlusale). L'objectif sera de redonner à la dent sa forme anatomique.



*Figure 41 : Photographie mur proximal ( Dr Alaux )*

### 3.1.3.6 Polissage

Afin d'éviter une surface poreuse ou une marche entre la dent et la restauration, qui favoriserait le dépôt de plaque, un dégrossissage et un polissage seront nécessaires. Cette étape pourra être réalisée avec un CK6 ainsi que des bagues rouges et jaunes.

## 3.1.4 Les résines composites

### 3.1.4.1 Composition

#### 3.1.4.1.1 Phase organique

La phase organique est constituée d'une matrice, formée en général de monomères R-diméthacrylates (à l'exception du silorane, 3M ESPE) la rendant compatible avec tous les autres composites. (53)(54) Le monomère le plus utilisé est le Bis-GMA (bisphénol-A-glycidyl diméthacrylate). (79)

La conversion d'un monomère fluide en un polymère rigide permet de passer d'une phase plastique à une phase rigide, permettant son utilisation en technique directe. Les monomères sont prépolymérisés pour former des oligomères, avec de meilleures propriétés mécaniques et une réduction du retrait de polymérisation. La réaction de prise est une polymérisation qui implique la libération de radicaux libres provoquant l'ouverture des doubles liaisons du groupe vinyle des monomères diméthacrylates, et l'allongement du polymère (53)(55)

Les monomères étant de haut poids moléculaire, donc de très haute viscosité, leur utilisation clinique en est rendue inadaptée. Il est donc nécessaire d'y assembler des monomères de faible viscosité (diluants) comme le TEGDMA (triéthylène glycol diméthacrylate) qui est le plus utilisé sur le marché. (53)

L'utilisation de diluants rend la résine plus flexible et moins cassante, mais augmente la rétraction de prise et réduit la résistance à l'abrasion. Ils présentent cependant l'inconvénient de rendre la résine moins biocompatible. (53)

Les activateurs permettent la polymérisation. En effet, ils permettent de décomposer un amorceur pour créer des radicaux libres qui activeront par la suite les monomères. Les monomères vont s'assembler par des liaisons covalentes pour former des polymères. L'activateur le plus couramment utilisé en photopolymérisation est la camphroquinone, et pour la chémo-polymérisation c'est l'amine. (56)(57)

Les pigments permettent de modifier la couleur de la résine composite. Ils sont le plus souvent à base d'oxydes de titane et d'aluminium. Ils doivent être stables dans le temps.(58)

La matrice résineuse comporte également des opacifiants (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>...) afin d'ajuster la transmission optique des restaurations. (59)

On utilise de même des inhibiteurs de prise pour éviter une polymérisation spontanée dans certaines conditions de stockage. Ils sont à base de dérivés de phénol, d'où la contre indication de l'utilisation de ZnOE sous une résine, du fait de de leur pouvoir inhibiteur. (55)

L'agent de couplage (Silane) est une molécule comportant des groupes silanes à une extrémité (liaison ionique avec SiO<sub>2</sub>) et des groupes méthacrylate à l'autre (liaison covalente avec la résine). Il permet la liaison entre la phase organique, par leurs groupements métacryliques, et la phase minérale (ou organo-minérale) par leurs groupements silanols. (60)(61)

#### 3.1.4.1.2 Phase inorganique

Elle est composée de charges qui sont des particules qui varient en fonction de leurs tailles, de leurs formes ( arrondie, sphérique...) et de leurs compositions. Ces particules ont une taille moyenne proche du micron pour les composites de dernière génération (53). Elles améliorent les propriétés mécaniques, optiques, physico-chimiques et donnent leurs radio-opacité aux composites. Elles sont aussi responsables de la diminution du retrait de polymérisation. Cependant, l'esthétique et la résistance à l'usure diminuent avec l'augmentation des charges. (62) (78)

Diverses tentatives ont été faites pour modifier les types de charges, leur taille et le rapport de leur contenu en poids ou en volume.(78)

### 3.1.4.2 Classification des composites

#### 3.1.4.2.1 Selon la taille des charges

Les matériaux composites en résine sont de plus en plus utilisés en dentisterie moderne en raison de plusieurs qualités souhaitables, telles que l'apparence esthétique et les bonnes propriétés physiques et mécaniques. (63) Il existe une multitude de composites commercialisés et qui diffèrent les uns des autres en fonction de leurs spécificités. Il est bien documenté que les propriétés mécaniques des composites de résine sont considérablement influencées par la forme, la taille et la teneur en volume des particules de remplissage. (64) Il existe une variété de classifications et celles-ci restent complexes à déterminer actuellement. Il existe une classification en fonction de la taille des particules, de la viscosité ou de la consistance du composite ( flow, bulk...). Nous détaillerons celle qui se base sur la taille des particules. (78)

#### - **Macro chargés** (79)

Ils ont été les premiers sur le marché. Ils se présentent sous la forme de deux pâtes à mélanger. Ils se composent d'une association de macroparticules (quartz, céramique, verre) obtenues par concassage ainsi que d'une résine matricielle. Ils comportent entre 70 et 80% de charges.

La taille des charges varie de 10 à 50 $\mu$ m.

Ils ont de bonnes propriétés cliniques mais un état de surface obsolète rendant le polissage complexe.

Ex : Concise 3M ESPE



*Figure 30 : Concise 3M ESPE (79)*

#### - **Microchargés** (78)

Afin d'améliorer l'esthétique, on a pu voir apparaître sur le marché des composites microchargés, composés de microcharges de silice de 0,04 $\mu$ m en moyenne et de macrocharges de 10 à 50 $\mu$ m. Elles peuvent être homogène ou hétérogène. Ils comportent entre 35 et 70% de charges. Ils ont de bonnes propriétés optiques, un bon état de surface et une bonne résistance à l'usure.

Cependant, les propriétés mécaniques sont insuffisantes et le retrait de polymérisation est élevé. Leur utilisation est limitée au secteur antérieur, où les tensions masticatoires sont inférieures à celles du secteur postérieur.



Ex : Durafill VS KULZER



*Figure 31 : Durafill VS KULZER*

### - Hybrides

Ils se caractérisent par un mélange de charges de tailles différentes et de compositions de natures, de formes et de tailles variables. On peut retrouver des micro-charges de silice ( $0,04\mu\text{m}$ ) avec des macrocharges de verres allant de  $0,4$  à  $10\mu\text{m}$ . Nous y regrouperons les composites hybrides, microhybrides et les microhybrides nanochargés. (64)



*Figure 29 : Multicore HB - IVOCLARE*

Il a été suggéré que la taille des charges observée pour les composites nanohybrides pourrait être une raison de ne pas les désigner comme des matériaux nanostructurés. Cette suggestion était basée sur le fait que les composites micro hybrides peuvent contenir un mélange de particules de tailles nanométriques similaire en combinaison avec des particules de remplissages plus grandes. (64)

La combinaison de particules améliore le transfert de stress entre les particules, conférant des propriétés uniques et supérieures. Ils comportent jusqu'à 80% de charges.

Ils ont de bonnes propriétés mécaniques, esthétiques et permettent un meilleur polissage. Ce sont des composites universels, utilisés tant bien en restauration antérieure que postérieure. (79)

Ex : Multicore HB IVOCLAR VIVADENT

## - Nanochargés

L'innovation la plus récente a été le développement des composites nanochargés qui ne contiennent que des charges de silice et de zircone 0,005 à 0,01 $\mu$ m. Ils contiennent jusqu'à 80% de charges. Ces composites, formés de nanoparticules, ont amélioré de façon exponentielle les propriétés mécaniques et esthétiques, telles que la résistance à l'abrasion, le lissé de surface et le résultat final de la finition. (65)

La plupart des fabricants ont modifié les formulations de leurs microhybrides pour y inclure davantage de nanoparticules, et éventuellement des charges de résines pré-polymérisées, similaires à celles trouvées dans les composites hybrides, et l'ont baptisé "nanohybrides". Il est difficile de distinguer les nanohybrides des microhybrides. Leurs propriétés mécaniques ont tendance à être similaires, les nanohybrides en tant que groupe se situent dans la gamme inférieure des microhybrides, les deux étant supérieurs aux microcharges. (62)

En ce qui concerne les évaluations cliniques, deux études ont montré d'excellents résultats similaires dans les cavités de classe II, notamment pour un nanochargé comparé à un microhybride ainsi qu'un nanohybride comparé à un microhybride; avec une légère preuve d'une meilleure intégrité marginale pour le micro-hybride dans la dernière étude. (62)

De nombreuses études comparatives entre des nanocomposites et d'autres composites ont été réalisées. Pour résumer, il est difficile de prédire la performance d'un seul matériau. Il sera ainsi conclu que les nanocomposites ne sont pas forcément supérieurs aux autres composites.

- Résistance à la flexion : Certains auteurs montrent une flexion significativement supérieur des nanocomposites (66) et d'autres le contraire (67)
- Résistance à la compression et à la traction : Certains auteurs démontrent une similarité (66) et d'autres ont montré une grande variabilité selon le composite nanochargé utilisé. (67)
- Résistance à la fracture : Encore une fois, une variabilité est démontrée (69) et d'autres auteurs démontrent une comparabilité entre le nanocomposite et le composite hybride.
- Dureté : Là encore, une grande variabilité est présente. Par conséquent, il serait difficile de comparer avec précision les résultats. Par conséquent, d'autres enquêtes à l'aide d'une méthodologie comparable devraient être effectuées afin de pouvoir comparer directement les résultats.(71)(73)(74)
- Usure : L'usure a été définie comme l'élimination progressive du matériau à la suite de l'interaction entre deux surfaces se déplaçant l'une contre l'autre. (64)(75) D'énormes variabilités existent en fonction des études, qui démontrent soit une similarité (65)(74), soit une infériorité de l'usure des nanocomposites (76)(77).

L'examen actuel de la littérature publiée a montré que les matériaux nanocomposites disponibles dans le commerce ne présentent aucun avantage significatif par rapport aux composites hybrides en termes de résistance et de dureté. Les nanocomposites ont démontré des performances cliniques acceptables en comparaison aux composites de résine hybride pour des périodes d'examen allant de un à dix ans. Cependant, il n'y a pas eu de rapport définitif sur les performances supérieures des nanocomposites dans la majorité des critères d'évaluation utilisés. (62)

Ex : Empress Direct IVOCLAR, Clear Fill Majesty ES2 Universel U



*Figure 30 : Clear Fill Majesty ES2 U*      *Figure 31 : Empress Direct IVOCLAR*

#### 3.1.4.2.2 Ormocers

Les ormocers, un mot dérivé de organically modified ceramic, ont été développés à l'origine pour la science et la technologie (par exemple pour des surfaces anti-adhésives, des revêtements antistatiques, des revêtements non-réfléchissants...). Contrairement aux composites conventionnels, la matrice de l'ormocer est non seulement organique mais aussi inorganique. Les monomères sont donc mieux intégrés dans la matrice, ce qui augmente le taux de conversion en diminuant la perte de monomère. (79)

Les ormocers se composent essentiellement de trois éléments : les parties organiques et inorganiques, et les polysiloxanes. La proportion de ces éléments influence les propriétés mécaniques, thermiques et optiques du matériau :

- La matrice organique est responsable de la dureté, de la polarité, de la capacité de réticulation, et du comportement optique.
- La matrice inorganique, composée de verre, de quartz, d'oxydes, de dioxydes de silicium, est responsable de l'expansion thermique et de la stabilité chimique.
- Les polysiloxanes/silanes influencent l'élasticité, les propriétés de l'interface et le traitement.

Les composants inorganiques sont liés aux polymères organiques par des molécules de silane multifonctionnelles. Après polymérisation, la partie organique des groupes méthacrylates forme un réseau tridimensionnel.

### ❖ Avantages et inconvénients

Les ormocers ont un retrait de polymérisation inférieur aux composites hybrides ou conventionnels, avec une teneur en charge inférieure. (80) Ainsi, à teneur en charges égales, les ormocers ont un retrait de polymérisation réduit en comparaison aux composites hybrides (79). Ces matériaux se sont avérés présenter des taux d'usure inférieurs à ceux des autres composites. (80)

En ce qui concerne la cytotoxicité, certains auteurs ont démontrés une plus grande cytotoxicité des ormocers par rapport à des composites traditionnels (81) et d'autres ont montrés qu'un ormocer libérait significativement moins de monomères tels que le Bis-GMA, TEGDMA ou UDMA par rapport à un composite nano hybride ou un composite autopolymérisable. (82)

Les ormocers récemment développés mais encore expérimentaux, synthétisés à partir de trialkoxysilanes diméthacrylate, d'amines ou d'amides, et exempts de diluant diméthacrylate, ont clairement montré une amélioration du module d'élasticité en flexion, ce qui promet un renouveau de cette catégorie de matériaux.

Ex : Admira Fusion© - VOCO



*Figure 32 : Admira Fusion© - VOVO*

#### 3.1.4.2.3 Les Siloranes

Le matériau Silorane est un composite expérimental développé par 3M ESPE, Seefeld, Allemagne. Le nom Silorane dérive de la combinaison de ses blocs de construction chimiques siloxanes et oxiranes. Ils sont hydrophobes, réduisant l'absorption de colorants et d'eau.

Le réseau de Siloranes est un système de monomères à ouverture de cycles cationiques. La polymérisation se fait par une réaction cationique par ouverture de cycles, contrairement aux méthacrylates retrouvés dans les résines composites ayant une réticulation linéaire par radicaux. (83)

## ❖ Avantages et inconvénients

Les Siloranes présentent une faible rétraction de polymérisation et de bonnes propriétés mécaniques et physiques comparables aux autres résines composites. Ils ont également une grande stabilité optique (82)(83). Cependant, ce sont des matériaux hydrophobes avec une faible radio-opacité. (79)

Ex : Filtek Sirona - 3M ESPE



Figure 33 : Filtek Sirona - 3M ESPE

### 3.1.4.2.4 Les composites renforcés de fibres de verres (CRFs)

Afin de diminuer le retrait de polymérisation et d'augmenter les propriétés mécaniques des composites conventionnels, l'incorporation de fibres courtes a été réalisée.

Il existe deux grands types de matrices résineuses :

- Semi-IPN : le réseau entrelacé est formé par la combinaison d'un polymère réticulé (thermographique) et d'un polymère linéaire (thermoplastique). (85)
- CLP : matrice de polymères réticulés photo-durcie.

Tableau 1- Liste des matériaux CRFs disponibles					
Nom	everStick® PERIO, C&B, ORTHO everStick® NET*	EverX Posterior®	GrandTec®	Tender Fiber®	Dentapreg® PFU
Fabricant	GC Leuven Belgique	GC Leuven Belgique	Voco Cuxhaven Allemagne	Micerium Avagno Italie	ADM Brno République Tchèque
Type de matrice	Semi-IPN	Semi-IPN	CLP	CLP	CLP
Monomère	PMMA Bis-GMA	PMMA Bis-GMA TEGDMA	UDMA TEGDMA	Bis-GMA	Bis-GMA TEGDMA
Fibres	E-glass	E-glass	R-glass	Glass fibres	S2-glass
Proportion de fibres (vol%)	60 % en poids*	54 %	35-40 %	54,8 % en poids*	35-45 %
Nombre de fibres	2000, 4000, 1600	-	4000-4500	6400	8300
Épaisseur du réseau	0,6 mm	-	-	-	-
Orientation des fibres	Unidirectionnelle Orthogonale (NET)	Aléatoire	Unidirectionnelle	Unidirectionnelle	Unidirectionnelle
Enrobage des fibres	Epoxysilane	Non communiqué	Silane	Silane	Plasma spray

E (= Electric)-glass; S (= Strength)-glass; R (= Resistance)-glass; Semi-IPN = réseau semi-interpénétré de polymères; CLP = matrice de polymère réticulée; \* le pourcentage exact en volume n'a pas été spécifié par le fabricant.

Figure 34 : Tableau listant les différents types de matériaux CRFS disponibles (85)

Les résines avec une matrice Semi-IPN combinées avec des fibres de verres ont montré une amélioration des propriétés mécaniques par rapport aux autres composites conventionnels. (86)

Il existe plusieurs types de fibres : E-glass, R-Glass, Glass fibres... composées de polyéthylène ou de verre ainsi que d'une incorporation de silane afin d'améliorer l'adhésion à la matrice. Les plus utilisées et ayant de meilleures valeurs de résistance, sont les E-Glass.(87)

Les valeurs d'adhésion des CRFs sont similaires aux autres composites. Cette valeur dépendra du type d'adhésif utilisé. (88)

Il existe au sein de ces composites fibrés, une réduction de la contraction de polymérisation (88), une augmentation de la résistance à la traction (89), l'amélioration de la résistance à la compression (90) et une augmentation de la ténacité (résistance à la fracture)( 91). L'everX Posterior (GC), composite bulk, a montré une valeur de résistance à la fracture, par test de flexion en 3 points, supérieure aux autres composites bulk.(92)

De plus, l'augmentation des fibres de verre, et donc la diminution des charges, de façon aléatoire, avec des fibres dirigées dans tous les sens, entraîne la diminution de la flexion.(93)

Il n'a pas été mis en évidence de différence significative dans la résistance à la fatigue, entre une restauration directe MOD avec un composite particulaire en fond de cavité recouvert d' un composite fibré et une restauration indirecte de type inlay. (94)

L'eau a un effet détérioratif sur l'adhésion entre les fibres et la matrice par l'hydrolyse de l'agent de couplage (Silane). Ainsi, le composite fibré nécessite d'être recouvert par une couche de composite particulaire. (95)

Les CRFs peuvent être utilisés pour remplacer la dentine sous une restauration directe ou indirecte collée afin de respecter la notion de biomimétisme (96). En effet, ses propriétés mécaniques se rapprochent de celles de la dentine.



*Figure 35 : Ever X Posterior (GC)*

## Quel composite choisir ?

Il existe plusieurs composites de densités différentes : bulk, flow ou conventionnel. Le retrait de polymérisation est l'une des principales causes d'échec de nos restaurations.(97) Trois facteurs principaux contribuent à réduire le stress de retrait : l'administration de composite en couche plutôt qu'en vrac, un facteur de configuration de la cavité inférieure et un contact minimal avec les parois opposées de la cavité pendant la polymérisation. (99)

Afin de diminuer le retrait de polymérisation il est important d'utiliser une technique de superposition oblique lors de la restauration. L'objectif sera alors de toucher le moins de parois possible tout en effectuant une remontée oblique. (99)



*Figure 36 : Technique de superposition oblique(86)*

Les composites flow de première génération ne sont pas indiqués pour la restauration de dents subissant de grandes contraintes de charges, en raison de leurs mauvaises propriétés mécaniques. (101) Cependant, les nouveaux composites flow nanochargés peuvent être appliqués aux cavités de classes 2 grâce à leurs bonnes propriétés physiques. (101).

Les composites bulks permettent le remplissage de cavités profondes, par l'application de couches de composites allant jusqu'à 4mm (contre 2mm pour les composites conventionnels), permettant un gain de temps. (102)

L'utilisation de composites fluides en fond de cavité avec ajout d'un composite conventionnel au-dessus a démontré des capacités quantitatives et qualitatives supérieures dans l'obtention de la force d'adhérence, de la fiabilité de l'adhérence et de la durabilité. (109)

Le choix du composite de restauration semble avoir un effet mineur sur la longévité, à condition que des procédures techniques appropriées soient utilisées. (103)

Dans une revue systématique évaluant la performance des composites postérieurs, le type de matériau composite n'a pas été identifié comme un facteur de risque significatif pour la survie de la restauration, alors que d'autres facteurs l'étaient, comme le risque carieux des patients et le nombre de surfaces restaurées. (104) En effet, la taille de la cavité, la position de la dent, l'épaisseur de composite utilisé ainsi que l'absence d'émail périphérique sont des critères qui impactent bien plus nos restaurations. (103)

### 3.2 Méthode indirecte



*Figure 42 Photographie d'une pièce prothétique emax à visée indirecte ( Dahmane Hadj )*

Les caries sont la cause principale de la perte de tissu dentaire dur, avec une prévalence estimée à plus de 90% dans la population mondiale. Cette perte tissulaire peut être également provoquée par d'autres facteurs tels que l'érosion, l'abrasion, l'usure et la fracture. Cela provoquera sensibilité, douleurs, atteinte pulpaire, caries secondaires et problèmes parodontaux et occlusaux (extrusion antagoniste, interférence, etc ...) (84).

Les restaurations partielles sont devenues une option de traitement conservatrice grâce à leurs bons résultats esthétiques, leur durabilité, leur stabilité de couleur, leur biocompatibilité et leur taux élevé de survie à long terme (84). De plus, cette méthode permet une moindre préparation dentaire aboutissant à une bonne préservation tissulaire. (84)

Dans les restaurations directes, le matériau de restauration (qui se limite au composite) est placé au fauteuil par le praticien, permettant une meilleure préservation de la structure dentaire. Ces restaurations sont principalement indiquées dans les cas de destruction dentaire moindre.

La technique de restauration indirecte implique quant à elle la préparation de la restauration en dehors de la bouche (à l'aide de composite, d'hybrides ou de céramiques). (105)(106)

Par rapport à la technique directe, la technique indirecte offre une protection des cuspides, ainsi qu'un renforcement de la dent. (110) Cette procédure permet d'améliorer les propriétés physiques et mécaniques, offrant davantage une morphologie occlusale idéale et une usure compatible avec celle de la denture naturelle opposée. (106) De plus, cette technique évite la contraction de la polymérisation que l'on trouve avec les restaurations partielles directes améliorant ainsi l'étanchéité marginale. (110)



Les restaurations collées en comparaison à une technique directe, consistent à créer une anatomie idéale des surfaces occlusales, avec un excellent contrôle des points de contact et des profils d'émergence, ainsi que la possibilité d'une évaluation de l'occlusion avec un articulateur.

En plus de l'évolution des techniques et des matériaux adhésifs, des méthodes numériques modernes de fabrication des restaurations indirectes ont été développées. Les systèmes de conception et de fabrication assistés par ordinateur (CAD-CAM), ainsi que l'amélioration des scanners intra-oraux, constituent une alternative à la méthode conventionnelle pour la fabrication de restaurations indirectes de hautes qualités. (108) Cette conception permet de restaurer les tissus dentaires perdus en une seule visite, réduisant la durée totale du traitement (110).

Néanmoins, il est important de connaître les limites de ces techniques analogiques et numériques afin d'établir le flux de travail le mieux adapté à chaque cas, car la manipulation correcte du matériau et la sélection adéquate de la technique de fabrication ou d'adhésion sont des facteurs clés qui influencent le succès ou l'échec de la restauration (105).

### 3.2.1 Indications

#### 3.2.1.1 Cavités larges avec recouvrement cuspidien

La technique indirecte est indiquée pour la reconstruction de cavités de moyenne à grande étendue. Ces dernières pouvant présenter une destruction importante dans la zone interdentaire (interproximale), ou des isthmes étendus mesurant plus d'un tiers de la largeur de la surface occlusale. La technique permet également la reconstruction d'une ou plusieurs cuspides. (84)

En effet, il est parfois nécessaire de faire un recouvrement cuspidien lorsqu'il y a un délabrement de la cuspide ou des signes de fragilités de celle-ci.

L'épaisseur des parois restantes doit être  $\geq 2,0$  mm dans les dents vitales et  $\geq 3,0$  mm dans les dents traitées par endodontie (110)

Si un recouvrement cuspidien est décidé ce dernier devra avoir une épaisseur  $\geq 1$  à 1,5mm pour le composite et le disilicate de lithium (pressé ou CAD/CAM), et  $\geq 2$  à 2,5mm pour la céramique feldspathique et la vitrocéramique renforcée à la leucite. (110)

#### 3.2.1.2 Matriçage impossible

Lorsqu'il n'est pas possible de reproduire un point de contact dû à une cavité proximale trop importante empêchant la congruence de la matrice, la restauration indirecte est alors indiquée.

#### 3.2.1.3 Présence d'email cervicale en petite quantité

La faible épaisseur d'email périphérique, voire son absence sont des indications à la restauration indirecte. En outre, le simple manque d'email cervical ne représenterait plus une indication pour la technique directe. (110)(111)

#### 3.2.1.4 Restaurations multiples

Lorsque il y a nécessité d'effectuer de multiples restaurations dans plusieurs quadrants avec changement de l'ensemble de l'occlusion, les restaurations indirectes sont indiquées. (110)

#### 3.2.1.5 Syndrome des dents fissurés ou Cracked tooth syndrome

Une fissure peut être définie comme une ligne à la surface d'un objet le long de laquelle il s'est fendu sans se rompre, tandis qu'une fracture peut être considérée comme le craquement ou la rupture d'un objet ou d'un matériau dur. (112)

Les patients présentant un CTS se plaignent souvent de symptômes tels qu'une douleur aiguë à la morsure et une sensibilité thermique, en particulier lors de la consommation d'aliments et de boissons froids. D'autres symptômes moins fréquemment rapportés incluent la perception d'une douleur au relâchement, la douleur provoquée par le fait de serrer ou de grincer des dents ou par des substrats sucrés et plus rarement par des stimuli thermiques respectivement. Cependant, les symptômes perçus peuvent varier en fonction de la profondeur et de l'orientation de la fissure. (113)

Le diagnostic peut être fait avec l'aide d'une sonde, d'une lampe UV et idéalement avec une aide optique afin de le confirmer. Cependant, toutes les fissures ne sont pas symptomatiques. (112)

Les restaurations des dents fissurées ne sont pas toujours indiquées, car les données récentes favorisent la surveillance de certains cas. En particulier en l'absence de symptôme ou de structure dentaire compromise. La planification du traitement devra être établie au cas par cas et selon un processus de prise de décision centré sur le patient (114)

#### 3.2.1.6 Porte à faux

Le porte à faux interproximal doit être  $\leq 2$  mm. Le risque de fracture de la crête marginale augmente lorsque le porte à faux est trop important ( $>2$  mm). (111)

#### 3.2.1.7 Usures dentaires et augmentation de DVO

Il est possible d'utiliser les restaurations directes comme indirectes pour traiter les usures ou les remontées de DVO. Cependant les restaurations indirectes sont préférables pour des restaurations plus importantes ou pour une destruction tissulaire plus sévère. Elles permettent également de contrôler au mieux l'anatomie et l'occlusion dans les cas complexes. Néanmoins, il est tout de même possible d'utiliser la technique directe conjointement à la technique indirecte pour le même patient, en commençant tout d'abord les restaurations indirectes dans la nouvelle DVO. Seront ensuite réalisées les restaurations directes. (115)

L'inconvénient de l'approche indirecte est qu'il sera nécessaire de créer des marges et une géométrie définie pour permettre une fabrication correcte et fiable de la restauration. Le coût est également plus important. (116)

### 3.3 Restauration directe ou indirecte ?

La littérature montre que l'augmentation de la taille de la cavité, la position de la dent (les dents postérieures se doivent de supporter de plus grosses charges mécaniques), la présence d'un traitement endodontique et l'absence d'émail périphérique sont des facteurs susceptibles d'affecter négativement la longévité de nos restaurations. (118)

Les pièces prothétiques en méthode indirecte collées, offrent une protection cuspidienne, avec un renforcement de la dent. Cela améliore les propriétés physiques et mécaniques lors de la polymérisation ultérieure du composite de collage. Elle offre également une morphologie occlusale idéale. En effet, la fabrication extra-orale permet de soulager les contraintes résiduelles et fournit une meilleure forme anatomique. L'usure est compatible avec celle de la denture naturelle opposée et réduit les contractions de polymérisation que l'on retrouve avec les restaurations directes. (119)

L'utilisation des restaurations indirectes a augmenté grâce au progrès des technologies d'adhésion permettant une meilleure liaison entre la dent et la pièce prothétique, et donc une plus grande conservabilité. (120) La longévité des restaurations indirectes sera conditionnée par une série de facteurs, dont l'état des dents de soutien, les habitudes du patient, les protocoles cliniques, et les propriétés du matériau de restauration utilisé. (121)

La plupart des études actuelles n'indiquent aucune différence statistiquement significative dans le taux d'échec des restaurations directes par rapport aux restaurations indirectes. Cependant, certaines études avec des biais élevés ont conclu à la supériorité des restaurations indirectes. (119) Ces études ne sont pas représentatives car elles incluent des patients présentant une très bonne hygiène bucco-dentaire, d'excellents cliniciens et des conditions cliniques optimales (125)

Plus la taille de la cavité augmente et plus les effets de la fatigue du matériau seront importants à long terme. Il s'agit cependant d'une croyance commune, non prouvée par une étude clinique. (119) Par ailleurs, de nombreuses études ont vérifié que les principales raisons de l'échec des inlays en composite sont les caries secondaires et la sensibilité postopératoire.

L'amélioration des nouveaux composites devrait cependant faire envisager des examens plus approfondis. L'expérience clinique amène les dentistes à utiliser les inlay/onlay pour les cavités de moyennes à grandes étendues, s'attendant à ce qu'une restauration indirecte offre un meilleur succès à long terme. Cela n'est pas tout à fait exact, du moins, aucune différence statistiquement significative dans la longévité n'a été trouvée dans les différentes méta-analyses. (119,122,123) Or le coût tissulaire d'une préparation indirecte est plus élevé que pour une préparation en méthode directe.

Dans l'ensemble, il n'y a pas suffisamment de preuves pour faire des recommandations strictes en faveur de la technique directe plutôt que indirecte, d'autres études longitudinales sont nécessaires et devraient être mises en œuvre.

Bien que des recherches supplémentaires puissent être bénéfiques, la différence non significative obtenue dans les études permet de choisir librement entre les deux restaurations. (119)(122)(123)(124)

## CONCLUSION :

L'évolution des technologies et des matériaux composites nous amène à nous interroger sur la pertinence d'un traitement directe en comparaison à un traitement indirecte. Nous avons analysé dans cette thèse l'importance du point de contact et les méthodes de sa restauration en cas de délabrement. En effet, si celui-ci n'est pas respecté, il peut résider un espace sous la zone de contact entraînant un préjudice fonctionnel.

La méthode directe par l'intermédiaire d'anneaux, de cônes et de matrices permet de restaurer ce point de contact. L'évolution des différents composites conventionnels avec l'avènement des composites hybrides et nanocomposites, permet de meilleures propriétés esthétiques et mécaniques.

Aucune étude ne prouve de supériorité d'un traitement par rapport à l'autre. Il est ainsi du ressort du praticien de choisir le type de soins en fonction de son expérience clinique et de ses formations. Il peut sembler judicieux d'utiliser la pratique indirecte pour remplacer ou réaliser de multiples restaurations au sein d'un même quadrant, sécurisant l'approche pour le praticien. La méthode directe semble cependant avoir tout à fait sa place dans la restauration de cavité de moyenne étendue. L'indication de l'inlay de façon indirecte semble révolu, et des études supplémentaires sont nécessaires afin de montrer jusqu'où la méthode directe peut se placer comparativement à la méthode indirecte dans le remplacement cuspidien.

Le directeur de thèse



Le président du jury



## BIBLIOGRAPHIE :

1. Beniash E, Stiffler CA, Sun CY, Jung GS, Qin Z, Buehler MJ, et al. The hidden structure of human enamel. *Nat Commun.* 26 sept 2019;10(1):4383.
2. Goldberg M. Goldberg M. Histologie de l'émail. In *Encyclopédie Médico-chirurgicale.* Elsevier-Masson. 2007. *Encyclopédie Médico-chirurgicale.* 2007;
3. Goldberg M, Boskey AL. Lipids and biomineralizations. *Prog Histochem Cytochem.* 1996;31(2):1-187.
4. Arola D, Gao S, Zhang H, Masri R. THE TOOTH: ITS STRUCTURE AND PROPERTIES. *Dent Clin North Am.* oct 2017;61(4):651-68.
5. Lasfargues JJ. Lasfargues JJ, Colon P. Email dentaire. In: *Odontologie Conservatrice et Restauratrice Tome 1: Une approche médicale globale.* CdP. Rueil-Malmaison;2009. p. 33-47.
6. Koldehoff J, Swain MV, Schneider GA. The geometrical structure of interfaces in dental enamel: A FIB-STEM investigation. *Acta Biomater.* 1 mars 2020;104:17-27.
7. Lacruz RS, Habelitz S, Wright JT, Paine ML. DENTAL ENAMEL FORMATION AND IMPLICATIONS FOR ORAL HEALTH AND DISEASE. *Physiol Rev.* 1 juill 2017;97(3):939-93.
8. Lambrechts P, Braem M, Vuylsteke-Wauters M, Vanherle G. Quantitative in vivo wear of human enamel. *J Dent Res.* déc 1989;68(12):1752-4.
9. Carvalho TS, Lussi A. Age-related morphological, histological and functional changes in teeth. *J Oral Rehabil.* avr 2017;44(4):291-8.
10. De Boever JA, McCall WD, Holden S, Ash MM. Functional occlusal forces: an investigation by telemetry. *J Prosthet Dent.* sept 1978;40(3):326-33.
11. Kaewsuriyathumrong C, Soma K. Stress of tooth and PDL structure created by bite force. *Bull Tokyo Med Dent Univ.* déc 1993;40(4):217-32.
12. He LH, Swain MV. Enamel - a « metallic-like » deformable biocomposite. *J Dent.* mai 2007;35(5):431-7.
13. Fejerskov O, Scheie AA, Manji F. The effect of sucrose on plaque pH in the primary and permanent dentition of caries-inactive and -active Kenyan children. *J Dent Res.* janv 1992;71(1):25-31.
14. ten Cate JM, Featherstone JD. Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1991;2(3):283-96.
15. Tedesco TK, Soares FZM, Grande RHM, Filho LER, Rocha R de O. Effect of cariogenic challenge on bond strength of adhesive systems to sound and demineralized primary and permanent enamel. *J Adhes Dent.* oct 2014;16(5):421-8.
16. Lasfargues JJ, Colon P. Lasfargues JJ, Colon P. Maladie carieuse. In: *Odontologie Conservatrice et Restauratrice Tome 1: une approche médicale globale.* CdP. Rueil-Malmaison; 2009. p. 135-76. 2009;
17. Lasfargues JJ CP. Lasfargues JJ, Colon P. Complexe pulpo-dentinaire. In: *Odontologie Conservatrice et Restauratrice Tome 1: Une approche médicale globale.* CdP. Rueil-Malmaison; 2009. p. 49-71. 2009;49-71.
18. Goldberg M, Six N, Decup F, Buch D, Soheili Majd E, Lasfargues JJ, et al. Application of bioactive molecules in pulp-capping situations. *Adv Dent Res.* août 2001;15:91-5.
19. Nanci A. « Ten Cate's Oral Histology » 9th ed. St. Louis, Missouri, Elsevier. 411 p. 2018.
20. Goldberg M, Lasfargues JJ. Pulpo-dentinal complex revisited. *Journal of Dentistry.* févr 1995;23(1):15-20.
21. Mjör IA, Nordahl I. The density and branching of dentinal tubules in human teeth. *Archives of Oral Biology.* mai 1996;41(5):401-12.
22. Bjørndal L, Simon S, Tomson PL, Duncan HF. Management of deep caries and the exposed pulp. *International Endodontic Journal.* 2019;52(7):949-73.

23. Yoshiba N, Edanami N, Tohma A, Takeuchi R, Ohkura N, Hosoya A, et al. Detection of bone marrow-derived fibrocytes in human dental pulp repair. *International Endodontic Journal*. 2018;51(11):1187-95.
24. Smith AJ, Duncan HF, Diogenes A, Simon S, Cooper PR. Exploiting the Bioactive Properties of the Dentin-Pulp Complex in Regenerative Endodontics. *Journal of Endodontics*. 1 janv 2016;42(1):47-56.
25. Ricucci D, Loghin S, Lin LM, Spångberg LSW, Tay FR. Is hard tissue formation in the dental pulp after the death of the primary odontoblasts a regenerative or a reparative process? *Journal of Dentistry*. 1 sept 2014;42(9):1156-70.
26. Svatos D. A Literature Review on the Effects of Smoking on Tertiary Dentin Formation. In 2016 [cité 17 janv 2023]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Literature-Review-on-the-Effects-of-Smoking-on-Svatos/77d8fdb3bc9fc48f870b7aa0ef3f44f016b32e32/figure/2>
27. Mena-Serrano AP, Garcia EJ, Perez MM, Martins GC, Grande RHM, Loguercio AD, et al. Effect of the application time of phosphoric acid and self-etch adhesive systems to sclerotic dentin. *J Appl Oral Sci*. avr 2013;21(2):196-202.
28. Conrads G, About I. Pathophysiology of Dental Caries. *Monogr Oral Sci*. 2018;27:1-10.
29. Innes NPT, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Terminology. *Adv Dent Res*. mai 2016;28(2):49-57.
30. Belenet HD, Meyer J. Gestion contemporaine des lésions carieuses profondes : le curetage sélectif, *Biomatériaux Cliniques n°2* - 15 octobre 2020 (page 44-53)
31. Lasfargues JJ, Colon P. Fonction et esthétique dentaire. In: *Odontologie Conservatrice et Restauratrice Tome 1: une approche médicale globale*. CdP. Rueil-Malmaison; 2010. p. 99-133
32. Anatomie dentaire | Livre | Françoise Tilotta, Gérard Lévy, Alain Lautrou. 11/2018
33. Parodontologie & Dentisterie implantaire - Volume 1 : Médecine parodontale. 11-2014
34. LE POINT DE CONTACT ET LE SYNDROME DU SEPTUM. Par le Dr.A.Hauteville. [Internet]. Comité Evaluation Nouvelles Dentaires Françaises. 2013. Disponible sur: <https://cendf.wordpress.com/2013/04/20/le-point-de-contact-et-le-syndrome-du-septum-par-le-dr-a-hauteville/>
35. Anatomie dentaire Application à la pratique de la chirurgie - Rickne C. Scheid, Julian B. Woelfel
36. Chang LC. The association between embrasure morphology and central papilla recession. *Journal of Clinical Periodontology*. 2007;34(5):432-6.
37. Rasperini G, Tavelli L, Barootchi S, McGuire MK, Zucchelli G, Pagni G, et al. Interproximal attachment gain: The challenge of periodontal regeneration. *J Periodontol*. juill 2021;92(7):931-46.
38. Hauteville DA. Le point de contact et le syndrome du septum. [Internet]. Conseil Dentaire Dr.Hauteville. 2016 [cité 17 janv 2023]. Disponible sur: <https://conseildentaire.com/le-point-de-contact-et-le-syndrome-du-septum-par-le-dr-a-hauteville/>
39. Tarnow DP, Magner AW, Fletcher P. The Effect of the Distance From the Contact Point to the Crest of Bone on the Presence or Absence of the Interproximal Dental Papilla. *Journal of Periodontology*. 1992;63(12):995-6.
40. Bhatia HP, Sood S, Sharma N, Singh A, Rajagopal V. Comparative Evaluation of Clinical Efficiency and Patient Acceptability toward the Use of Circumferential Matrix and Sectional Matrix for Restoration of Class II Cavities in Primary Molars: An In Vivo Study. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2021;14(6):748-51.
41. Demarco FF, Correa MB, Horta B, Barros AJ, Peres KG, Peres MA. Multilevel analysis of the association between posterior restorations and gingival health in young adults: a population-based birth cohort. *Journal of Clinical Periodontology*. 2013;40(12):1126-31.

42. Minoodt I, Slaus G, Bottenberg P. La digue en endodontie (et ailleurs): utilité et conseils pratiques, rubberdam, nut en nuttige tips. *Revue belge de médecine dentaire Belgisch tijdschrift voor tandheelkunde*. 1 janv 2005;60:107-14.
43. Hahn B, Haubitz I, Krug R, Krastl G, Soliman S. Influence of Matrix Type on Marginal Gap Formation of Deep Class II Bulk-Fill Composite Restorations. *Int J Environ Res Public Health*. 19 avr 2022;19(9):4961.
44. À propos de Garrison | Garrison Dental [Internet]. Disponible sur: <https://www.garrisondental.com/fr/about-garrison>
45. Raghu R, Srinivasan R. Optimizing tooth form with direct posterior composite restorations. *J Conserv Dent*. 2011;14(4):330-6.
46. Saber MH, Loomans BAC, El Zohairy A, Dörfer CE, El-Badrawy W. Evaluation of proximal contact tightness of Class II resin composite restorations. *Oper Dent*. 2010;35(1):37-43.
47. de la Peña VA, García RP, García RP. Sectional matrix: Step-by-step directions for their clinical use. *Br Dent J*. janv 2016;220(1):11-4.
48. Durr-E-Sadaf, Ahmad MZ, Gaikwad RN, Arjumand B. Comparison of two different matrix band systems in restoring two surface cavities in posterior teeth done by senior undergraduate students at Qassim University, Saudi Arabia: A randomized controlled clinical trial. *Indian Journal of Dental Research*. 7 janv 2018;29(4):459.
49. Bioclear Matrix Systems [Internet]. Bioclear. [cité 24 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.bioclearmatrix.com/>
50. Home | Polydentia Swiss Manufacture [Internet]. Polydentia. Disponible sur: <https://polydentia.ch/fr/>
51. Brochure Dentsply Sirona [Internet] : [https://www.dentsplysirona.com/content/dam/flagship/fr\\_fr/explore/restorative/restauration/FR-Palodent-v3.pdf](https://www.dentsplysirona.com/content/dam/flagship/fr_fr/explore/restorative/restauration/FR-Palodent-v3.pdf)
52. Yong W, Zhang RQ. [A clinical study of Palodent posterior teeth matrix system]. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. févr 2009;27(1):44-8.
53. Anusavice K, Shen C, Rawls, H.R. Direct restorative materials. In : *Philips' Science of Dental Materials 12th edition*. St Louis, USA. Elsevier 2012. p255-306.
54. Porot M. Les résines composites d'obturation en masse: les « "bulk-fill" ». 2019;
55. Leprince J, Leloup G, Vreven J, Weiss P, Raskin A. Polymères et résines composites. *EMC - Dent Print Ed*. 2010;28:10. In.
56. Rueggeberg FA, Giannini M, Arrais CAG, Price RBT. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Braz Oral Res*. 28 août 2017;31(suppl 1):e61.
57. Jakubiak J, Allonas X, Fouassier JP, Sionkowska A, Andrzejewska E, Linden LÅ, et al. Camphorquinone–amines photoinitiating systems for the initiation of free radical polymerization. *Polymer*. août 2003;44(18):5219-26.
58. Eichelberger A. Détermination des coefficients d'absorption de la lumière des couleurs dentines par une résine composite - Signum ceramis® - et une céramique dentaire - HeraCeram Press®: comparaison de deux méthodes d'évaluation.
59. Lee YK. Opalescence of human teeth and dental esthetic restorative materials. *Dent Mater J*. 1 déc 2016;35(6):845-54.
60. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater*. janv 2018;34(1):13-28.
61. García AH, Lozano MAM, Vila JC, Escribano AB, Galve PF. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Clinical Dentistry*.
62. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater*. janv 2011;27(1):29-38.
63. de Moraes RR, Gonçalves L de S, Lancellotti AC, Consani S, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Nanohybrid resin composites: nanofiller loaded materials or traditional microhybrid resins? *Oper Dent*. 2009;34(5):551-7.
64. Alzraikat H, Burrow M, Maghaireh G, Taha N. Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. *Operative Dentistry*. 1 juill 2018;43(4):E173-90.

65. Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc.* oct 2003;134(10):1382-90.
66. Pontes LF, Alves EB, Alves BP, Ballester RY, Dias CGBT, Silva CM. Mechanical properties of nanofilled and microhybrid composites cured by different light polymerization modes. *Gen Dent.* 2013;61(3):30-3.
67. Rodrigues Junior SA, Zanchi CH, Carvalho RV de, Demarco FF. Flexural strength and modulus of elasticity of different types of resin-based composites. *Braz Oral Res.* 2007;21(1):16-21.
68. Lu H, Lee YK, Oguri M, Powers JM. Properties of a dental resin composite with a spherical inorganic filler. *Oper Dent.* 2006;31(6):734-40.
69. Ilie N, Hickel R, Valceanu AS, Huth KC. Fracture toughness of dental restorative materials. *Clin Oral Investig.* avr 2012;16(2):489-98.
70. Thomaidis S, Kakaboura A, Mueller WD, Zinelis S. Mechanical properties of contemporary composite resins and their interrelations. *Dent Mater.* août 2013;29(8):e132-141.
71. Lombardini M, Chiesa M, Scribante A, Colombo M, Poggio C. Influence of polymerization time and depth of cure of resin composites determined by Vickers hardness. *Dent Res J (Isfahan).* 2012;9(6):735-40.
72. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials.* 1 janv 2011;27(1):29-38.
73. Beun S, Glorieux T, Devaux J, Vreven J, Leloup G. Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites. *Dent Mater.* janv 2007;23(1):51-9.
74. Cao L, Zhao X, Gong X, Zhao S. An in vitro investigation of wear resistance and hardness of composite resins. *Int J Clin Exp Med.* 2013;6(6):423-30.
75. Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. *J Dent.* 1996;24(1-2):141-8.
76. Han J min, Zhang H, Choe HS, Lin H, Zheng G, Hong G. Abrasive wear and surface roughness of contemporary dental composite resin. *Dent Mater J.* 2014;33(6):725-32.
77. Schultz S, Rosentritt M, Behr M, Handel G. Mechanical properties and three-body wear of dental restoratives and their comparative flowable materials. *Quintessence Int.* janv 2010;41(1):e1-10.
78. Bompolaki D, Lubisich EB, Fugolin AP. Resin-Based Composites for Direct and Indirect Restorations: Clinical Applications, Recent Advances, and Future Trends. *Dent Clin North Am.* oct 2022;66(4):517-36.
79. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials.* 1 janv 2011;27(1):29-38.
80. Ilie N, Hickel R. Resin composite restorative materials. *Aust Dent J.* juin 2011;56 Suppl 1:59-66
81. Al-Hiyasat AS, Darmani H, Milhem MM. Cytotoxicity evaluation of dental resin composites and their flowable derivatives. *Clin Oral Investig.* mars 2005;9(1):21-5.
82. Polydorou O, König A, Hellwig E, Kümmerer K. Long-term release of monomers from modern dental-composite materials. *Eur J Oral Sci.* févr 2009;117(1):68-75.
83. Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dental Materials.* 1 janv 2005;21(1):68-74.
84. Bustamante-Hernández N, Montiel-Company JM, Bellot-Arcís C, Mañes-Ferrer JF, Solá-Ruíz MF, Agustín-Panadero R, et al. Clinical Behavior of Ceramic, Hybrid and Composite Onlays. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* oct 2020;17(20):7582.
85. Farooq U, Teuwen J, Dransfeld C. Toughening of Epoxy Systems with Interpenetrating Polymer Network (IPN): A Review. *Polymers (Basel).* 24 août 2020;12(9):1908.
86. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila LVJ. Short glass fiber reinforced restorative composite resin with semi-inter penetrating polymer network matrix. *Dent Mater.* nov 2007;23(11):1356-62.



87. Khan SIR, Ramachandran A, Alfadley A, Baskaradoss JK. Ex vivo fracture resistance of teeth restored with glass and fiber reinforced composite resin. *J Mech Behav Biomed Mater.* juin 2018;82:235-8.
88. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Latta MA, Miyazaki M. Bonding performance and interfacial characteristics of short fiber-reinforced resin composite in comparison with other composite restoratives. *Eur J Oral Sci.* juin 2016;124(3):301-8.
89. Fonseca RB, de Almeida LN, Mendes GAM, Kasuya AVB, Favarão IN, de Paula MS. Effect of short glass fiber/filler particle proportion on flexural and diametral tensile strength of a novel fiber-reinforced composite. *J Prosthodont Res.* janv 2016;60(1):47-53.
90. Garoushi S, Lassila LVJ, Tezvergil A, Vallittu PK. Load bearing capacity of fibre-reinforced and particulate filler composite resin combination. *J Dent.* mars 2006;34(3):179-84.
91. Garoushi SK, Hatem M, Lassila LVJ, Vallittu PK. The effect of short fiber composite base on microleakage and load-bearing capacity of posterior restorations. *Acta Biomater Odontol Scand.* janv 2015;1(1):6-12.
92. Abouelleil H, Pradelle N, Villat C, Attik N, Colon P, Grosogoeat B. Comparison of mechanical properties of a new fiber reinforced composite and bulk filling composites. *Restor Dent Endod.* nov 2015;40(4):262-70.
93. Kamble VD, Parkhedkar RD, Mowade TK. The effect of different fiber reinforcements on flexural strength of provisional restorative resins: an in-vitro study. *J Adv Prosthodont.* févr 2012;4(1):1-6.
94. Soares LM, Razaghy M, Magne P. Optimization of large MOD restorations: Composite resin inlays vs. short fiber-reinforced direct restorations. *Dent Mater.* avr 2018;34(4):587-97.
95. Lassila LVJ, Nohrström T, Vallittu PK. The influence of short-term water storage on the flexural properties of unidirectional glass fiber-reinforced composites. *Biomaterials.* mai 2002;23(10):2221-9.
96. Zafar MS, Amin F, Fareed MA, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, et al. Biomimetic Aspects of Restorative Dentistry Biomaterials. *Biomimetics (Basel).* 15 juill 2020;5(3):34.
97. Chandrasekhar V, Rudrapati L, Badami V, Tummala M. Incremental techniques in direct composite restoration. *J Conserv Dent.* 2017;20(6):386-91.
98. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, Grandini R. A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restorations. *J Contemp Dent Pract.* 1 sept 2006;7(4):79-88.
99. Okada M, Maeno M, Nara Y. Bonding States of In Vitro Class 2 Direct Resin Composite Restoration Applied by Various Incremental Techniques. *Materials (Basel).* 13 oct 2021;14(20):6037.
100. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Stamatiades P, Wilkerson M. A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc.* mai 1998;129(5):567-77.
101. Rocha Gomes Torres C, Régo HMC, Perote LCCC, Santos LFTF, Kamozaki MBB, Gutierrez NC, et al. A split-mouth randomized clinical trial of conventional and heavy flowable composites in class II restorations. *J Dent.* juill 2014;42(7):793-9.
102. Hardan L, Sidawi L, Akhundov M, Bourgi R, Ghaleb M, Dabbagh S, et al. One-Year Clinical Performance of the Fast-Modelling Bulk Technique and Composite-Up Layering Technique in Class I Cavities. *Polymers (Basel).* 4 juin 2021;13(11):1873.
103. Demarco FF, Collares K, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR de, Opdam NJ. Should my composite restorations last forever? Why are they failing? *Braz Oral Res.* 28 août 2017;31(suppl 1):e56.
104. Opdam NJM, van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, et al. Longevity of posterior composite restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* oct 2014;93(10):943-9.
105. Angeletaki F, Gkogkos A, Papazoglou E, Kloukos D. Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* oct 2016;53:12-21.

106. Mangani F, Marini S, Barabanti N, Preti A, Cerutti A. The success of indirect restorations in posterior teeth: a systematic review of the literature. *Minerva Stomatol.* oct 2015;64(5):231-40.
107. Morimoto S, Rebello de Sampaio FBW, Braga MM, Sesma N, Özcan M. Survival Rate of Resin and Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res.* août 2016;95(9):985-94.
108. Spitznagel FA, Scholz KJ, Strub JR, Vach K, Gierthmuehlen PC. Polymer-infiltrated ceramic CAD/CAM inlays and partial coverage restorations: 3-year results of a prospective clinical study over 5 years. *Clin Oral Investig.* juin 2018;22(5):1973-83.
109. Cappare P, Sannino G, Minoli M, Montemezzi P, Ferrini F. Conventional versus Digital Impressions for Full Arch Screw-Retained Maxillary Rehabilitations: A Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 7 mars 2019;16(5):829.
110. Veneziani M. Posterior indirect adhesive restorations: updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique. *Int J Esthet Dent.* 2017;12(2):204-30.
111. Ferraris F. Posterior indirect adhesive restorations (PIAR): preparation designs and adhetics clinical protocol. *Int J Esthet Dent.* 2017;12(4):482-502.
112. Banerji S, Mehta SB, Millar BJ. The management of cracked tooth syndrome in dental practice. *Br Dent J.* 12 mai 2017;222(9):659-66.
113. Li F, Diao Y, Wang J, Hou X, Qiao S, Kong J, et al. Review of Cracked Tooth Syndrome: Etiology, Diagnosis, Management, and Prevention. *Pain Res Manag.* 2021;2021:3788660.
114. Bechtle S, Fett T, Rizzi G, Habelitz S, Klocke A, Schneider GA. Crack arrest within teeth at the dentinoenamel junction caused by elastic modulus mismatch. *Biomaterials.* mai 2010;31(14):4238-47.
115. Vailati F, Belser UC. Full-mouth adhesive rehabilitation of a severely eroded dentition: the three-step technique. Part 1. *Eur J Esthet Dent.* 2008;3(1):30-44.
116. Dietschi D, Argente A. A comprehensive and conservative approach for the restoration of abrasion and erosion. Part I: concepts and clinical rationale for early intervention using adhesive techniques. *Eur J Esthet Dent.* 2011;6(1):20-33.
117. Samartzi TK, Papalexopoulos D, Ntovas P, Rahiotis C, Blatz MB. Deep Margin Elevation: A Literature Review. *Dent J (Basel).* 14 mars 2022;10(3):48.
118. Demarco FF, Collares K, Correa MB, Cenci MS, Moraes RR de, Opdam NJ. Should my composite restorations last forever? Why are they failing? *Braz Oral Res.* 28 août 2017;31(suppl 1):e56.
119. Azeem RA, Sureshababu NM. Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. *J Conserv Dent.* 2018;21(1):2-9.
120. Abduo J, Sambrook RJ. Longevity of ceramic onlays: A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2018;30(3):193-215.
121. Amesti-Garaizabal A, Agustín-Panadero R, Verdejo-Solá B, Fons-Font A, Fernández-Estevan L, Montiel-Company J, et al. Fracture Resistance of Partial Indirect Restorations Made With CAD/CAM Technology. A Systematic Review and Meta-analysis. *J Clin Med.* 9 nov 2019;8(11):1932.
122. Congiusta, M. No differences in longevity of direct and indirect composite restorations. *Evid Based Dent* 18, 46 (2017). <https://doi.org/10.1038/sj.ebd.6401237>
123. Farsai PS. Limited Evidence Suggests There Is No Difference Between the Clinical Longevity of direct vs Indirect Composite Resins in Class I and II Cavities. *Journal of Evidence Based Dental Practice.* 1 juin 2017;17(2):110-2.
124. Angeletaki F, Gkogkos A, Papazoglou E, Kloukos D. Direct versus indirect inlay/onlay composite restorations in posterior teeth. A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dentistry.* 1 oct 2016;53:12-21.
125. Hardan L, Mancino D, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE, Lukomska-Szymanska M, Zarow M, et al. Treatment of Tooth Wear Using Direct or Indirect Restorations: A Systematic Review of Clinical Studies. *Bioengineering (Basel).* 27 juill 2022;9(8):346.

126. Jean-Pierre Attal et Gil Tirlet. Préservation tissulaire, biomimétique, adhésion : les trois clés de la dentisterie actuelle
127. Bioclear Matrix | Evolve Matrix System and Evolve Matrix Height Indicator - YouTube [Internet]. [cité 24 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.youtube.com/>
128. Tirlet G, Bazos P. L'Information Dentaire. 2019 [cité 19 nov 2023]. La « Biomimétique » : un concept contemporain au cœur de la dentisterie adhésive. Disponible sur:  
<https://www.information-dentaire.fr/formations/la-biomimetique-un-concept-contemporain-a-u-coeur-de-la-dentisterie-adhesive/>
129. Milicich G. The compression dome concept: the restorative implications. Gen Dent. 2017
130. Bazos P., Magne P. Bio-emulation: biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach; structural analysis. Eur J Esthet Dent. 2011;
131. Alleman et Magne, « A systematic approach to deep caries removal end points ».
132. Qvist V, Johannessen L, Bruun M. Progression of approximal caries in relation to iatrogenic preparation damage. J Dent Res. juill 1992;71(7):1370-3.
133. Qvist V, Johannessen L, Bruun M. Progression of approximal caries in relation to iatrogenic preparation damage. J Dent Res. juill 1992;71(7):1370-3.
134. Tirlet G, Bazos P. L'Information Dentaire. 2019 [cité 19 nov 2023]. La « Biomimétique » : un concept contemporain au cœur de la dentisterie adhésive. Disponible sur:  
<https://www.information-dentaire.fr/formations/la-biomimetique-un-concept-contemporain-a-u-coeur-de-la-dentisterie-adhesive/>

## TABLE DES FIGURES :

- Figure 1 : Le gradient thérapeutique
- Figure 2 : Composition et situation du cristaux d'hydroxyapatite (5)
- Figure 3 : Coupe au MEB au niveau de la couche aprismatique externe (5)
- Figure 4 : Orientation des stries de Retzius sur une coupe calcifiée d'émail humain (5)
- Figure 5 : Schématisation de l'architecture de l'émail. P : prismes ; SR : Stries de Retzius ; Pk : Périskématies (5)
- Figure 6 : a. Vue MEB de la surface de l'émail avec la présence de nombreux défauts et irrégularités de surface de l'émail. b. Ces défauts peuvent favoriser la croissance des biofilms (5)
- Figure 7 : Schéma du complexe pulpo dentinaire. (19)
- Figure 8 : Tableau comparant les tissus minéralisés de la dent (17)
- Figure 9 : Tableau de répartition des canalicules dentinaire au niveau de la dent (17)
- Figure 10 : Coupe transversale du  $\frac{2}{3}$  coronale, montrant les différents types de dentine (26)
- Figure 11 : Schéma représentant les différentes zones dentinaires dans une cavité carieuse (30)
- Figure 12 : schéma d'une représentation de l'espace interdentaire (35)
- Figure 13 : Schéma représentant le système d'attache sain d'une dent (34)
- Figure 14 : Composi-Tight® 3D Fusion™ Kit des 3 anneaux (44)
- Figure 15 : Anneau 3D XR Compo-Tight (44)
- Figure 16 : Anneau Soft Face 3D Ring (44)
- Figure 17 : Anneau Thin Tine G-Ring (44)
- Figure 18 : Anneau G-Rings Composi-Tight Long (44)
- Figure 19 : Anneau GRings Composi Tight Long(44)
- Figure 20 : Anneau G-Rings Composi-Tight Standard (44)
- Figure 21 : Anneau Gold G-Rings Long (44)
- Figure 22 : Anneaux TwinRing (49)
- Figure 23 : Anneau TwinRings universels (49)
- Figure 24 : Bioclear Evolve Matrix (49)
- Figure 25 : Mesure de l'embrasure avant restauration(144)
- Figure 26 : Anneau MyClip2 (50)
- Figure 27 : Photographie Anneau MyRing Forte (Hadj Dahmane)
- Figure 28 : Anneau MyRing classico (50)
- Figure 29 : Anneaux Palodent V3 (51)
- Figure 30 : Concise 3M ESPE
- Figure 31 : Durafill VS KULZER
- Figure 32 : Multicore HB - IVOCLARE
- Figure 33 : Clear Fill Majesty ES2 U
- Figure 34 : Empress Direct IVOCLAR
- Figure 35 : Admira Fusion© - VOVO
- Figure 36 : Filtek Sirona - 3M ESPE
- Figure 37 : Tableau listant les différents types de matériaux CRFS disponibles (85)
- Figure 38 : Ever X Posterior (GC)
- Figure 39 : Technique de superposition oblique (86)
- Figure 40 : Radiographies rétroalvéolaires d'une 47 avec réalisation d'une DME (117)
- Figure 41 : Photographie mur proximal ( Dr Alaux )
- Figure 42 : Photographie d'une pièce prothétique emax à visée indirect ( Dahmane Hadj )

## **LA RECONSTITUTION DU POINT DE CONTACT PAR LA MÉTHODE DIRECTE EN 2023**

---

### **RÉSUMÉ EN FRANÇAIS :**

Un mauvais point de contact entraîne généralement un bourrage alimentaire, une maladie parodontale et peut entraîner par la suite un déplacement dentaire. Pour éviter cela il existe deux grandes méthodes utilisées pour la restauration de celui-ci : la méthode directe et la méthode indirecte. Avec le développement des nouveaux composites il nous sera possible de traiter de multiples cas avec la méthode directe. Cela permet ainsi de repousser les limites de celle-ci. Lorsque cette limite sera atteinte nous nous tournerons alors vers la méthode indirecte.

---

**TITRE EN ANGLAIS : RECONSTITUTION OF THE CONTACT POINT USING THE  
DIRECT METHOD IN 2023**

### **SUMMARY :**

A poor point of contact usually leads to food blockage, periodontal disease and, eventually, tooth displacement. To avoid this, there are two main methods used for restoration: the direct method and the indirect method. With the development of new composites, it will be possible to treat many cases using the direct method. This means we can push back the limits of the direct method. When this limit is reached, we'll turn to the indirect method.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire**

---

**MOT-CLÉS : Point de contact ; restauration ; directe ; indirecte ; collage ; composite ;  
Chirurgie dentaire ; Anneau ; Garrison ; Palodent , Bioclear , Polydentia**

---

**INTITULÉ ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :**

Université Toulouse III-Paul Sabatier

Faculté de santé – Département d'Odontologie 3 chemin des Maraîchers 31062 Toulouse  
Cedex 09

---

**Directeur de thèse : Dr Nicolas ALAUX**