Traitement des lésions carieuses profondes : choix des matériaux et préservation pulpaire

Pierre Buttigieg

▶ **To cite this version:**

Pierre Buttigieg. Traitement des lésions carieuses profondes : choix des matériaux et préservation pulpaire. Chirurgie. 2018. dumas-02006296

HAL Id: dumas-02006296

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02006296

Submitted on 4 Feb 2019

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

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

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

ACADEMIE d'AIX-MARSEILLE

Traitement des lésions carieuses profondes : choix des matériaux et préservation pulpaire

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques DEJOU)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon BERLAND)

Le 13 décembre 2018

par

BUTTIGIEG Pierre
né le 08 décembre 1993
à MIRAMAS

Pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président	: Monsieur le Professeur	H. TASSERY
Assesseurs	: Monsieur le Professeur	F. BUKIET
	Monsieur le Docteur	G. ABOUDHARAM
	Monsieur le Docteur	B. BALLESTER

ACADEMIE d'AIX-MARSEILLE

Traitement des lésions carieuses profondes : choix des matériaux et préservation pulpaire

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille
(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques DEJOU)

Aix Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Yvon BERLAND)

Le 13 décembre 2018

par

BUTTIGIEG Pierre
né le 08 décembre 1993
à MIRAMAS

Pour obtenir le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président	: Monsieur le Professeur	H. TASSERY
Assesseurs	: Monsieur le Professeur	F. BUKIET
	Monsieur le Docteur	G. ABOUDHARAM
	Monsieur le Docteur	B. BALLESTER

Faculté d'Odontologie
Aix*Marseille Université

ADMINISTRATION

Mise à jour : octobre 2018

DOYENS HONORAIRES	Professeur	R. SANGIUOLO
	Professeur	H. ZATTARA
	Professeur	A. SALVADORI
DOYEN	Professeur	J. DEJOU
VICE – DOYEN CHARGE DES ENSEIGNEMENTS DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE FORMATION INITIALE	Professeur	J.D. ORTHLIEB
VICE – DOYEN CHARGE DE LA RECHERCHE DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE LA RECHERCHE	Professeur	C. TARDIEU
DIRECTEUR DU DEPARTEMENT DE FORMATION CONTINUE	Professeur	V. MONNET-CORTI
CHARGES DE MISSION	Professeur	F. BUKIET
	Professeur	A. RASKIN
RESPONSABLE DES SERVICES ADMINISTRATIFS ET TECHNIQUES	Madame	K. LEONI
PROFESSEUR ÉMERITE	Professeur	O. HUE

56ème SECTION :
DEVELOPPEMENT, CROISSANCE ET PREVENTION

56.01 ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE ET ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE

Professeur	C. TARDIEU *	*Assistant*	H. AL AZAWI
Maître de Conférences	D. BANDON	*Assistant*	V. MAGNAN
Maître de Conférences	I. BLANCHET		
Maître de Conférences	A. CAMOIN		
Maître de Conférences	A. CHAFAIE		

ORTHOPÉDIE DENTO-FACIALE

Maître de Conférences	J. BOHAR	*Assistant*	I. CAMBON
Maître de Conférences	J. GAUBERT	*Assistant*	L. LEVY
Maître de Conférences	M. LE GALL *	*Assistant*	R. MATTERA
Maître de Conférences	C. PHILIP-ALLIEZ	*Assistant*	C. MITTLER
		Assistant	A. PATRIS-CHARRUET

56.02 PRÉVENTION - ÉPIDÉMIOLOGIE - ÉCONOMIE DE LA SANTÉ - ODONTOLOGIE LÉGALE

Professeur	B. FOTI *	*Assistant*	A. PORTAL
Professeur	D. TARDIVO		

57ème SECTION :
CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

57.01 CHIRURGIE ORALE ; PARODONTOLOGIE ; BIOLOGIE ORALE

PARODONTOLOGIE

Professeur	V. MONNET-CORTI *	*Assistant*	A. BOYER
		Assistant	C. DUMAS
		Assistant	V. MOLL

CHIRURGIE BUCCALE – PATHOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE - ANESTHÉSIOLOGIE – RÉANIMATION

Maître de Conférences	D. BELLONI	*Assistant*	E. QUINQUE
Maître de Conférences	F. CAMPANA		
Maître de Conférences	J. H. CATHERINE *		
Maître de Conférences	P. ROCHE-POGGI		

BIOLOGIE ORALE

Maître de Conférences	P. LAURENT	*Assistant*	C. LE FOURNIS

65EME SECTION : BIOLOGIE CELLULAIRE

Professeur	Imad ABOUT * (Responsable de la Biologie orale)

* Responsable de la discipline

58ème SECTION :
REHABILITATION ORALE

58.01 RESTAURATRICE, ENDODONTIE, PROTHESES, FONCTION-DYSFONTION, IMAGERIE, BIOMATÉRIAUX

ODONTOLOGIE CONSERVATRICE, ENDODONTIE

Professeur	F. BUKIET *	*Assistant*	B. BALLESTER
Professeur	H. TASSERY	*Assistant*	H. DE BELENET
Maître de Conférences	G. ABOUDHARAM	*Assistant*	A. DEVICTOR
Maître de Conférences	M. GUIVARC'H	*Assistant*	S. MANSOUR
Maître de Conférences	C. PIGNOLY	*Assistant*	L. MICHEL-ROLLET
Maître de Conférences	L. POMMEL		
Maître de Conférences	E. TERRER		

PROTHÈSE

Professeur	M. RUQUET *	*Assistant*	N. CHAUDESAYGUES
Maître de Conférences	G. LABORDE	*Assistant*	M. DODDS
Maître de Conférences	M. LAURENT	*Assistant*	A. FERDANI
Maître de Conférences	G. MAILLE	*Assistant*	C. MENSE
Maître de Conférences	B.E. PRECKEL	*Assistant*	A. REPETTO
Maître de Conférences	G. STEPHAN	*Assistant*	A. SETTE
Maître de Conférences	P. TAVITIAN	*Assistant*	F. SILVESTRI
Maître de Conférences	A. TOSELLO		
Maître de Conférences associé	R. LAN		

SCIENCES ANATOMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES OCCLUSODONTOLOGIE, BIOMATÉRIAUX, BIOPHYSIQUE, RADIOLOGIE

Professeur	J. DEJOU	*Assistant*	M. JEANY
Professeur	J. D. ORTHLIEB *		
Professeur	A. RASKIN		
Maître de Conférences	T. GIRAUD		
Maître de Conférences	A. GIRAUDEAU		
Maître de Conférences	B. JACQUOT		
Maître de Conférences	J. P. RÉ		

* Responsable de la discipline

À mon président de jury,
Monsieur le Professeur Hervé TASSERY,
Je vous remercie d'avoir accepté la présidence de ce jury.
Au cours de ces années d'enseignement, la porte de votre bureau nous a toujours été ouverte afin que nous puissions assister à vos séances de soin et ainsi apprendre et approfondir les notions et techniques essentielles de la dentisterie restauratrice. Votre amabilité et votre humour vous honorent.
Merci

À mon jury de thèse,
Monsieur le Professeur Fréderic BUKIET,
Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury.
Votre disponibilité et vos conseils sur l'ensemble de mes questions posées au cours de ces années ont été précieux. Une discipline complexe comme l'endodontie nécessite des enseignants capables de la rendre accessible à tous.
Je vous en remercie.

À mon jury de thèse,
Monsieur le Docteur Gérard ABOUDHARAM.
Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury.
Nous n'avons malheureusement pas pu travailler ensemble, faute d'emplois du temps différents. De nos quelques rencontres, je garde de vous l'image d'un enseignant accessible, aimable et non avare de conseils.
Merci

À mon directeur de thèse,

Monsieur le Docteur Benoît BALLESTER,

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger cette thèse.

Votre grande proximité a su me porter et me faire évoluer tout au long de ce cursus. Vous avez su, d'une grande diplomatie, corriger mes erreurs, me guider dans mes interrogations et m'aider dans les moments les plus techniques. Votre disponibilité, votre indulgence, et la confiance que vous avez su m'accorder ont été pour moi un pilier. Je souhaite à chacun d'évoluer cliniquement avec un praticien comme vous à ses côtés.

Un grand respect et un énorme merci.

À ma famille,
Vous avez su vous sacrifier afin de me permettre de réaliser mes études et je vous en remercierai éternellement.
La route fut longue mais elle en valait vraiment le coup.
Je vous aime fort.

À mes amis,
Que ces années furent intenses !
Nous avons su surmonter toutes ces galères ensemble.
Votre présence quotidienne va me manquer.
Santé !

TABLE DES MATIÈRES :

I. INTRODUCTION 1

II. PROCESSUS LESIONNEL 2

II.1. ÉTIOLOGIE 2
II.2. CLASSIFICATIONS 3
II.2.1. *Classifications historiques et d'auteurs des années 1990 ..... 3*
II.2.2. *Classifications Modernes 6*
II.3. MOYENS DE DIAGNOSTIC 9
II.3.1. *Examen Visuel 10*
II.3.2. *Sondage de la lésion carieuse 10*
II.3.3. *Transillumination 10*
II.3.4. *Compléments d'appréciation 11*
II.3.5. *Apport de la radiographie 11*
II.3.6. *Apport des nouvelles technologies 12*

III. PROPRIETES BIOMECANIQUES DES TISSUS DENTAIRES 14

III.1. L'EMAIL 14
III.1.1. *Biologie Amélaire 14*
III.1.2. *Composition et Structure 15*
III.1.3. *Propriétés Mécaniques 15*
III.1.4. *Implications Cliniques 16*
III.2. LE COMPLEXE PULPO-DENTINAIRE 16
III.2.1. *La Dentine 16*
III.2.2. *La Pulpe Dentaire 21*

IV. BIOMATERIAUX DE PRESERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE 23

IV.1. MTA® 26
IV.2. THERACAL LC® 26
IV.3. BIODENTINE™ 26
IV.4. HYDROXYDE DE CALCIUM 27
IV.5. DERIVES DE LA MATRICE AMELAIRE 28
IV.6. TREATED DENTIN MATRIX PASTE 28

V. BIOMATERIAUX RESTAURATEURS DEFINITIFS ET SUBSTITUS DENTINAIRES 31

V.1. SYSTEMES ADHESIFS BIOACTIFS 31
V.1.1. *Propriétés des systèmes adhésifs 31*
V.1.2. *Bioactivité 31*
V.2. RESINES COMPOSITES 33
V.2.1. *Propriétés des résines composites 33*
V.2.2. *Bioactivité 37*
V.3. CIMENTS VERRE IONOMERE 38
V.3.1. *Propriétés des Ciments Verre Ionomère 38*
V.3.2. *Bioactivité 39*

VI. QUELS MATERIAUX POUR QUELLES SITUATIONS ? 40

VI.1. EN FONCTION DE L'ETAT PULPAIRE 40
VI.1.1. *Indications et contre-indications des coiffages pulpaires directs et indirects 40*
VI.1.2. *Coiffage Pulpaire Indirect 41*
VI.1.3. *Coiffage Pulpaire Direct 43*
VI.2. EN FONCTION DE LA NATURE DES TISSUS DU FOND CAVITAIRE, DE L'ACTIVITE DE LA LESION 45
VI.3. EN FONCTION DE L'ETENDUE DE LA LESION CARIEUSE 48
VI.3.1. *Restaurations par méthode directe 48*
VI.3.2. *Restaurations par méthode indirecte 49*

VII. CONCLUSION 50

I. INTRODUCTION

La maladie carieuse représente l'une des pathologies, dites chroniques, les plus répandues à travers le monde du fait qu'une personne peut en être affectée à n'importe quel stade de sa vie.
Elle consiste en une destruction des tissus durs coronoradiculaires. Décrite comme le « troisième fléau mondial », la carie est la principale cause de douleur orale (1).

L'organe pulpaire est le centre névralgique de la dent. Enchâssée dans une coque minéralisée, la pulpe est le lieu de nombreux échanges nutritifs, sensitifs, informationnels de la dent avec son environnement. La carie, si elle n'est pas traitée à temps, progresse en direction pulpaire jusqu'à entrainer des atteintes irréversibles de cette dernière.

Dans une société où de nombreuses disparités économiques, sanitaires, alimentaires se creusent et dans laquelle la consommation sucrée et acide ne cesse de grandir, la prévalence de la carie atteint des sommets et ce dès le plus jeune âge.

Afin de stopper le processus carieux, protéger et traiter les éventuelles symptomatologies pulpaires et repousser au plus l'irréversibilité des biopulpo- et biopulpectomies, de nombreuses stratégies thérapeutiques ont été mises en place.

La restauration définitive de la carie profonde est une thérapeutique plurifactorielle complexe. Le choix du ou des biomatériaux sera prépondérant pour faire face à la multitude de circonstances.

II. PROCESSUS LESIONNEL

II.1. Étiologie

L'OMS a défini la carie dentaire comme étant « *un processus pathologique localisé, d'origine externe, apparaissant après l'éruption, qui s'accompagne d'un ramollissement des tissus durs et évoluant vers la formation d'une cavité* ».
L'OMS a également défini la « carie clinique », pour des fins statistiques, comme étant « *une cavité qui peut être diagnostiquée au moyen du miroir et de la sonde* » tout en soulignant que : « *La carie clinique est un stade du processus de carie dentaire. La carie se développe à partir d'une lésion microscopique qui ne peut être diagnostiquée en toute certitude par les méthodes cliniques actuelles. Cette lésion finit par donner une cavité (carie clinique) qui, elle, peut être diagnostiquée à l'examen clinique* ».

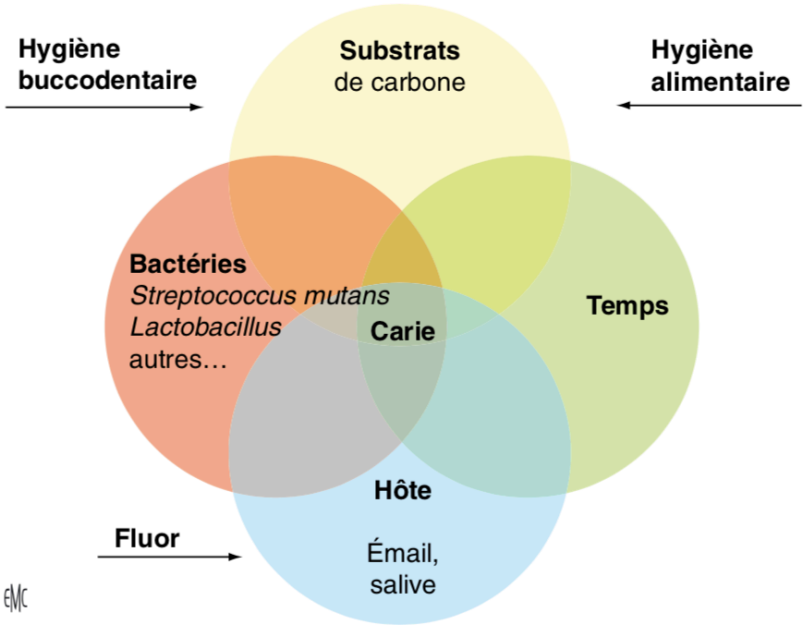


Figure 1: Schéma de Keyes modifié (2)

L'étiologie de la maladie carieuse est multifactorielle. Son développement nécessite une interrelation entre des **facteurs comportementaux** et notamment alimentaires (hygiène buccodentaire, consommation tabagique, alimentation cariogène, alimentation carioprotectirce, apports fluorés), les **bactéries** (dont *Streptococcus Mutans*, Lactobacilles et Actinomyces sont les plus cariogènes) et l'**hôte** (âge, sexe, situation économique, état de santé général, état de santé bucco-dentaire de ce dernier et de sa famille, qualité salivaire, qualité des tissus dentaires) durable dans le temps. Les sucres fermentescibles ingérés lors de l'alimentation quotidienne sont en partie captés et digérés par les bactéries présentes dans la cavité orale, rejetant des produits de fermentation acides en son sein. Cela va entrainer une baisse de pH déséquilibrant les échanges ioniques au sein de la cavité buccale.

Si ce déséquilibre persiste les processus de déminéralisation l'emporte sur les processus de reminéralisation : la lésion carieuse se forme (2).
Le nombre de bactéries, leur nature et leur virulence peuvent être modifiés par un ensemble de facteurs de nature biologique, comportementale, physico-chimique, environnementale (1,2). Son interception la plus précoce possible est souhaitable. En effet cette dernière peut être arrêtée voire reversée en cas de découverte précoce.

Selon Pitts, 2004 ; Ekstrand *et al*., 2007, la procédure de diagnostic d'une lésion carieuse inclut trois étapes : la détection de la lésion, c'est-à-dire son identification, l'évaluation se sa sévérité et celle de son activité (3).

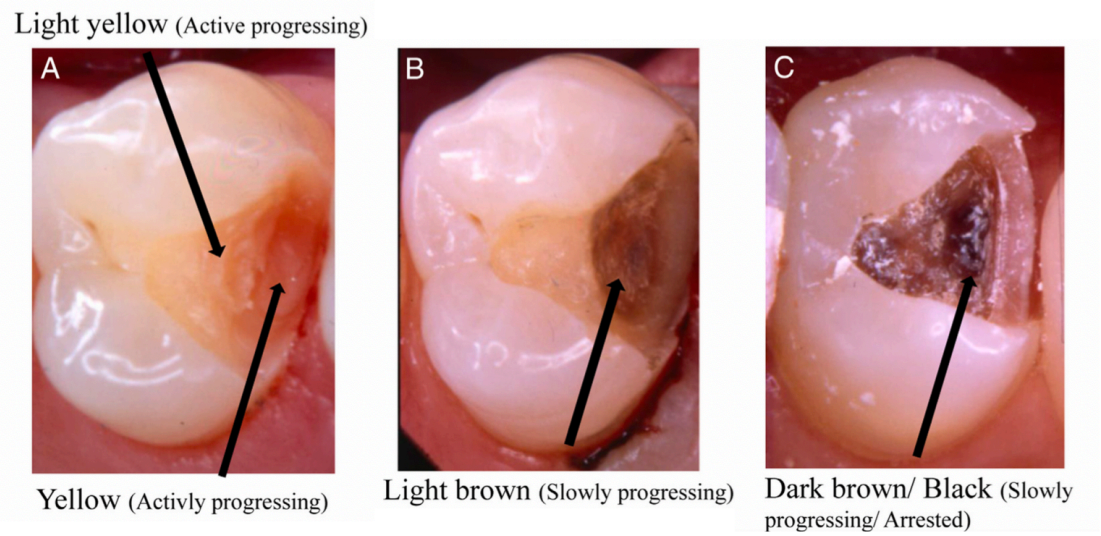


Figure 2: Évaluation clinique de l'activité d'une lésion (A : Progression active ; B : Progression Lente ; C : Arrêtée) (3)

II.2. Classifications (1)

II.2.1. Classifications historiques et d'auteurs des années 1990

II.2.1.1. *Classification de l'OMS*

Il s'agit de la Classification Internationale des Maladies qui distingue les caries dentaires en fonction du tissu atteint : émail, dentine, cément. Cette classification histologique est complétée par certains degrés. Deux degrés d'atteinte étaient consacrés à l'émail, cavitaire ou non. Deux degrés d'atteinte étaient consacrés à la dentine, avec atteinte pulpaire ou non.

II.2.1.2. *Classification par Degrés*

Attribuée à Lubetzki et longtemps utilisée en France, elle distingue quatre degrés :

- **1er degré** : Carie amélaire
- **2e degré** : Carie amélo-dentinaire
- **3e degré** : Carie avec complication pulpaire (pulpite irréversible)
- **4e degré** : Carie entrainant une complication pulpaire et parodontale (nécrose pulpaire, parodontite apicale)

II.2.1.3 *Classification de Black*

Datant de 1904, la classification de Black classifie les lésions carieuses en fonction de leur situation topographique :

- **Classe I** : Carie siégeant au niveau des défauts de structure dans les puits et sillons
- **Classe II** : Carie proximale des prémolaires et molaires
- **Classe III** : Carie proximale des incisives et canines sans atteinte des bords incisifs
- **Classe IV** : Carie proximale des incisives et canines avec atteinte des bords incisifs
- **Classe V** : Carie des collets dentaires
- **Classe VI** : Carie des bords incisifs et pointes cuspidiennes

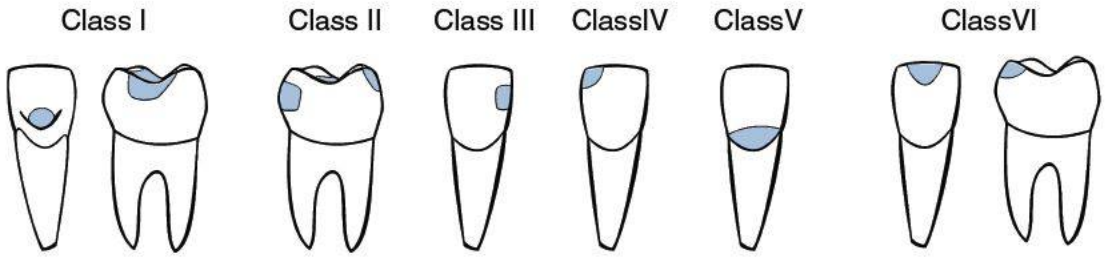


Figure 3 : Classification de Black (4)

La classe VI ne fut rajoutée qu'ultérieurement. D'après Lasfargues (1998), bien que cette classification semble avoir traversé les siècles en tant que référence, cette classification ne répond plus aux données actuelles de dentisterie minimalement invasive ainsi qu'aux données cariologiques actuelles.
En effet, cette classification fut conçue à une époque où le matériau d'obturation, non adhésif, qu'est l'amalgame, nécessitait des préparations cavitaires standardisées afin d'en assurer la résistance et la rétention, sans pour autant se soucier de l'organe dentaire lui-même et du sacrifice tissulaire demandé par de telles préparations (1).

II.2.1.4. *Classification d'Axelsson*

Il s'agit d'une classification des lésions carieuses occlusales suivant une échelle graduée en cinq points :
Grade 1 : tache blanche ou lésion colorée atteignant seulement l'émail, sans image radiographique.
Grade 2 : cavité superficielle dans l'émail à l'entrée des sillons avec perte minérale dans l'émail adjacent détectable par la radiographie
Grade 3 : perte minérale amélaire avec lésion du tiers externe de la dentine détectable par la radiographie
Grade 4 : perte minérale importante avec cavitation étendue de l'émail au tiers médian de la dentine
Grade 5 : cavitation avancée impliquant le dernier tiers de la dentine

II.2.1.5. *Classification de Pitts*

Dans son diagramme, Pitts souhaite orienter l'opérateur vers les bons choix thérapeutiques et favoriser l'aspect préventif de la lésion carieuse (3). Il décrit différents seuils :

- Lésions initiales subcliniques en état dynamique de progression/régression détectable par les moyens de diagnostic
- Lésions cliniquement décelables avec les moyens conventionnels de diagnostic :
    - **D1** : lésions de l'émail cliniquement détectables, avec une surface intacte
    - **D2** : lésions cliniquement détectables, avec une cavité limitée à l'émail
    - **D3** : lésions dentinaires (ouvertes et fermées) détectables cliniquement, stables et non cavitaires, ou en progression et cavitaires (D3+)
    - **D4** : lésions avec atteinte pulpaire

Les soins préventifs seront conseillés jusqu'au stade D3, à partir du stade D3+ ils devront être accompagnés de manœuvres opératoires.

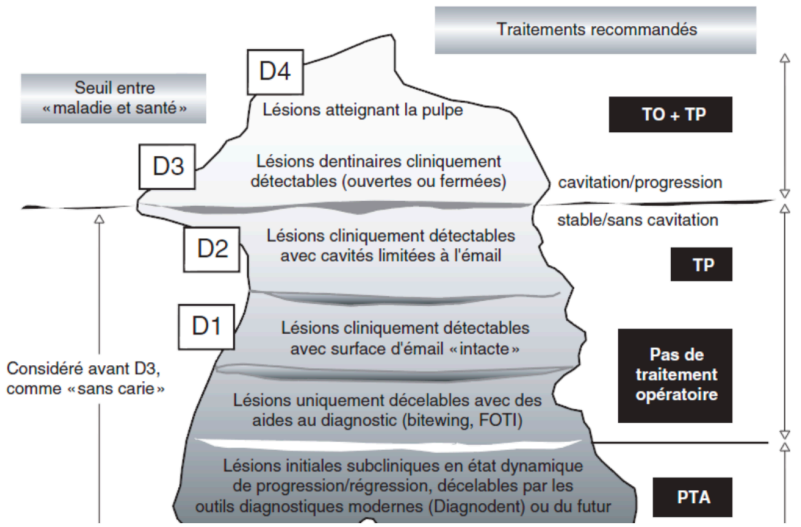


Figure 4: Iceberg de Pitts, 1997 (5)

II.2.1.5. *Classification spécifique des lésions proximales*

Plusieurs systèmes ont été proposés pour classifier les lésions proximales. Ces systèmes se basent sur des grades d'atteinte en fonction des observations sur les clichés radiographiques, certains en comportent trois, d'autres cinq, partagés en fonction des composants histologiques atteints.
Cependant, la radiographie, utilisée comme seul moyen de diagnostic, reste insuffisante.

II.2.1.6. *Classification des caries radiculaires*

Cette classification distingue quatre grades de développement des lésions carieuses radiculaires, définis par des critères visuels tels que la couleur et la consistance de ces lésions.

II.2.2. Classifications Modernes

II.2.2.1. *Classification de Mount & Hume*

Cette classification est la première à tenter de s'affranchir des lignes de la classification de Black en proposant un système de caractérisation de la lésion carieuse par sites et tailles de cavités.

Les sites d'atteinte correspondent aux zones d'accumulation majeures de la plaque dentaire :

- **Site 1** : Lésion carieuse des puits, sillons et fossettes dentaires postérieures et antérieures (remplaçant la classe I de Black)
- **Site 2** : lésion carieuse des zones de contact des dents antérieures et postérieures (remplaçant les classes II, III et IV de Black)
- **Site 3** : Lésion carieuse de la zone cervicale coronaire ou radiculaire (remplaçant la classe V de Black)

Les tailles de lésions déterminent leur degré d'extension :

- **Taille 1** : Atteinte dentinaire pour laquelle le traitement par reminéralisation n'est pas suffisant
- **Taille 2** : Atteinte dentinaire modérée, la dentine demeurant suffisamment résistante pour supporter une restauration environnée d'émail sain soutenu par de la dentine
- **Taille 3** : Lésions cavitaires franches avec fragilisation des cuspides et des bords incisifs, nécessitant l'élimination des structures fragilisées pour placer un matériau restaurateur dans le but de soutenir et renforcer les structures résiduelles
- **Taille 4** : Lésions cavitaires étendues au point de détruire la majeure partie des structures dentaires.

II.2.2.2. *Classification Diagnostique ICDAS™*

La classification ICDAS™ (*International Caries Detection and Assessment System*) se fonde uniquement sur des critères d'évaluation visuels. Tirée de l'observation de lésions carieuses présentes sur des dents extraites, cette classification montre une adéquation avec la classification histologique proposée par Ekstrand *et al*. en 2007. Cette classification intéresse principalement les lésions carieuses occlusales (1).

Valable aussi bien en denture lactéale que définitive, cette classification présente six scores lésionnels en fonction de l'observation de l'atteinte éventuelle amélodentinaire. Il s'agit de la deuxième version de la classification ICDAS™, la première ayant été amandée en 2005.

Score 0 : Email sain
Score 1 : Premiers changements visuels de l'émail après séchage (prolongé ou confiné aux puits et fissures)
Score 2 : Changement visuel net de l'émail
Score 3 : Rupture localisée de l'émail (sans signe d'atteinte dentinaire observable)
Score 4 : Zone sombre dans la dentine sous-jacente visible à travers le tissu amélaire
Score 5 : Cavité distincte avec exposition dentinaire
Score 6 : Cavité de grande étendue avec dentine exposée

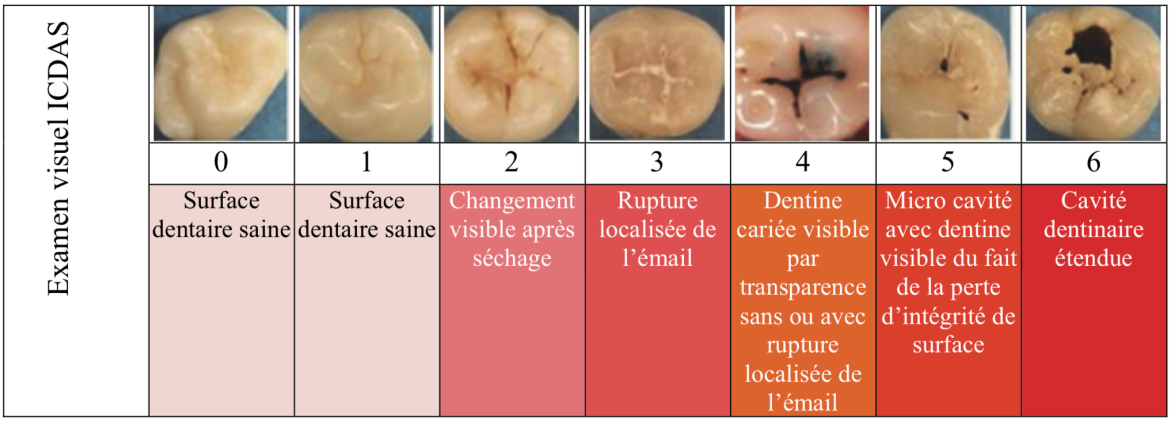


Figure 5 : Représentation picturale de l'atteinte lésionnelle amélodentinaire correspondant à chaque score de la classification ICDAS™ (6)

De la classification ICDAS™ est né l'ICCMS™ (*International Caries Classification and Management System*). Ce nouveau système de classification permet de prendre en compte à la fois les surfaces occlusales mais aussi les surfaces lisses proximales, linguales et vestibulaires, ainsi que l'atteinte des surfaces radiculaires. Au-delà des critères visuels, ce système se base aussi sur l'analyse radiographique des lésions carieuses et en propose une classification. En revanche, à l'heure actuelle, il ne permet pas d'en évaluer l'activité.
En classifiant les patients selon leur risque carieux et leurs habitudes de vie, ce système attribue à chacun une notion de risque carieux et propose une solution préventive ou curative basée sur le risque carieux encouru (7).

II.2.2.3. *Classification Si/Sta*

Considérée comme un guide thérapeutique intervenant dans le champ de l'odontologie préventive, adhésive et restauratrice pour le traitement des lésions carieuses quels que soient leur site et leur stade d'évolution (1), cette classification comporte trois sites et cinq stades d'évolution lésionnelles.

Les trois sites sont communs aux dents antérieures et postérieures. Ils correspondent aux sites d'accumulation préférentiels de la plaque bactérienne indépendamment de la situation de la dent concernée.

- **Site 1** : Occlusal ; lésions carieuses ayant commencées au niveau des puits et sillons, des fosses, des cingulums et des autres défauts coronaires des fasses occlusales.
- **Site 2** : Proximal ; lésions carieuses ayant commencées au niveau des aires de contact proximal entre dents adjacentes
- **Site 3** : Cervical ; lésions carieuses ayant commencées au niveau des aires cervicales, sur tout le périmètre coronaire et/ou radiculaire

Les cinq stades d'évolution de la lésion carieuse ne tiennent pas compte du volume tissulaire atteint. Ils représentent en revanche les différents degrés d'activité et de sévérité des lésions carieuses. En découlent alors des options de traitement propres allant de la prophylaxie à la nécessité de substitution dentinaire.

- **Stade 0** : Il s'agit d'un stade réversible. La lésion initiale est active, superficielle, non cavitaire. Le traitement sera non chirurgical, non invasif, à visée préventive.
- **Stade 1** : Lésion active débutante, atteinte du premier tiers externe dentinaire avec micro-cavitation. La possibilité de reminéralisation est écartée et nous oriente vers un traitement restaurateur à minima.
- **Stade 2** : Lésion active d'étendue modérée, cavitaire, avec atteinte du tiers médian dentinaire sans affaiblissement majeur des cuspides. Le traitement envisagé est un traitement restaurateur à minima.
- **Stade 3** : Lésion cavitaire étendue, avec atteinte du tiers profond dentinaire avec fragilisation des structures cuspidiennes. Le traitement restaurateur est indispensable afin de renforcer les structures résiduelles.
- **Stade 4** : Lésion cavitaire extensive et parapulpaire, avec destruction partielle des cuspides. Le traitement de substitution dentinaire s'impose alors afin de protéger voire d'activer le tissu pulpaire et ses mécanismes défensifs et réparateurs.

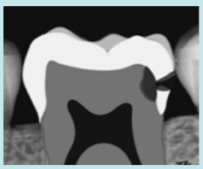
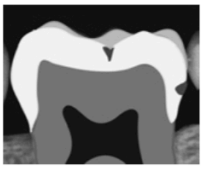
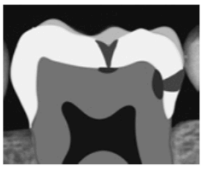
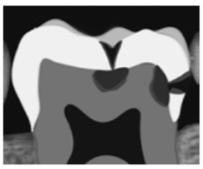
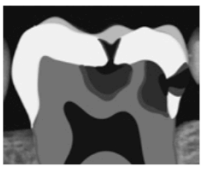
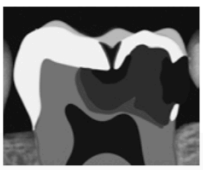
Stade		Site		
		1 : Occlusal	*2 : Proximal* 	*3 : Cervical*
0		Lésion initiale superficielle active, sans cavitation		
1		Lésion active débutante : opacité, coloration de l'émail, microcavitation Atteinte dentinaire 1/3 externe		
2		Lésion active étendue modérée, cavitaire Atteinte dentinaire 1/3 médian Perte du point de contact		Lésion cavitaire limitée à une face
3		Lésion active étendue, cavitaire Atteinte dentinaire 1/3 interne Perte du point de contact Fragilisation des cuspides/angle incisif		Lésion cavitaire étendue aux faces proximales
4		Lésion cavitaire extensive et parapulpaire avec destruction des cuspides/angle incisif		Lésion cavitaire entourant le collet

Figure 6: Illustration des différents sites et stades d'atteinte lésionnels décrits par la classification Si/Sta (8)

II.3. Moyens de Diagnostic (1)

Anciennement limité à la seule observation de la présence d'une ou plusieurs lésions carieuses puis à leur restauration, le concept moderne de diagnostic de la lésion carieuse tend à gagner en efficacité dans la détection précoce de la lésion ainsi que dans l'évaluation des lésions initiales.
Un changement de paradigme s'est opéré, grâce à l'avènement d'outils technologiques aidant le praticien dans son rôle d'interception précoce et de prévention de la lésion carieuse. Ces moyens diagnostiques diminuent le caractère subjectif de l'ancien paradigme et visent à rendre plus pertinents les choix préventifs et/ou thérapeutiques de l'opérateur.

II.3.1. Examen Visuel

Il permettra de détecter la lésion carieuse caractérisée par un changement de couleur, translucidité et de nature des structures dentaires.

II.3.1.1. *Méthodes de nettoyage*

Afin d'apprécier au mieux ces altérations, l'opérateur devra supprimer le biofilm bactérien ainsi que les dépôts exogènes présents sur les surfaces concernées. Le nettoyage sera effectué à l'aide d'un aéropolisseur ou d'une brossette prophylactique montée sur contre bleu avec application d'une pâte à polir fluorée (ex : NuPro®).

II.3.1.2. *Critères visuels*

Lors de l'examen clinique, le praticien devra être particulièrement attentif :

- Aux déminéralisations caractérisées par des changements de couleur et/ou de translucidité
- Aux cavitations et aux ruptures localisées du tissu amélaire
- À l'assombrissement des zones sous-amélaires témoignant d'une atteinte dentinaire et donc d'une déminéralisation en profondeur
- Du tissu dentinaire exposé au milieu oral par une cavitation, et donc soumis à l'invasion bactérienne

II.3.2. Sondage de la lésion carieuse

Cette méthode d'examen, bien que peu fiable (9), peut permettre à l'opérateur d'évaluer subjectivement la consistance d'un tissu dentaire.
Le principal sujet de controverse au sujet de cette technique porte sur la contamination secondaire donc elle peut faire l'objet en apportant des bactéries issues d'un site précédemment exploré sur un nouveau site d'exploration, ainsi que sur les risques de transformation et d'altération de lésions parfois non cavitaires et réversibles en lésions cavitaires irréversibles.

Devant ces problèmes éthiques, seules les sondes possédant une extrémité mousse (telles que les sondes parodontales par exemple) sont maintenant tolérées dans l'appréciation tissulaire (Pitts, 2001 ; (1)).

II.3.3. Transillumination

La transillumination consiste à appliquer un faisceau lumineux intense conduit par une fibre optique sur une zone suspecte de la dent et d'apprécier la transmission de la lumière au sein de l'organe dentaire. Sur une dent saine, la lumière est peu absorbée. La dent apparait donc

lumineuse. Lors d'une atteinte carieuse, le tissu dentinaire carié ne disperse plus la lumière mais au contraire l'absorbe. Il apparait donc une zone assombrie contrastée par le tissu dentinaire sain alentour. Cette méthode reste controversée car subjective de l'appréciation de l'opérateur et peu fiable en cas de lésion carieuse initiale ou cavitation faible. Cette technique ne pourra donc pas être recommandée comme moyen de diagnostic systématique mais plutôt en complément. Il est en revanche un moyen de diagnostic systématique pour la recherche de fêlures et fractures coronaires.

II.3.4. Compléments d'appréciation

II.3.4.1. *Nettoyage des embrasures et zones proximales*

L'utilisation de fil dentaire permettra de nettoyer les espaces interdentaires avant l'examen visuel et d'apprécier les points de contact existants. Une éventuelle dilacération du fil évoquera une lésion cavitaire avancée.

II.3.4.2. *Orthodontie locale (séparation proximale)*

Lors d'une suspicion de carie interproximale, l'orthodontie temporaire par séparation proximale consiste à placer un élastique orthodontique dans l'espace interdentaire concerné afin d'en agrandir temporairement le volume et donc apprécier les faces proximales des dents concernées dans leur totalité.

II.3.4.3. *Révélateurs de caries*

Introduits à la suite des travaux de Fusayama en 1979, ils consistent à colorer la dentine infectée sur sa partie externe. Des études plus récentes ont démontré sa tendance à colorer aussi la dentine affectée, dentine potentiellement reminéralisable.

II.3.5. Apport de la radiographie

Les clichés rétrocoronaires ou BiteWing doivent être utilisés car permettent la détection accrue des lésions carieuses proximales et occlusales. En denture permanente, il est conseillé de réaliser deux clichés rétrocoronaires pour couvrir intégralement les prémolaires et molaires de deux secteurs antagonistes.
Les lésions carieuses seront appréciables sur les clichés radiographiques car apparaissant sous la forme de zones radioclaires de géométrie variable en fonction du site atteint et de l'évolution de ces dernières. Le degré de déminéralisation sera lui apprécié selon une échelle de radioclarté, allant jusqu'au noir pour une cavitation.
Il faut tout de même garder à l'esprit que les radiographies rétrocoronaires modélisent en 2D une structure qui, elle, est en 3D. Les superpositions des tissus peuvent donc fausser les appréciations de l'opérateur et masquer d'éventuelles lésions.

De plus, du fait de la superposition des tissus amélaire et dentinaire, les lésions débutantes sont parfois occultées par leur radio-opacité.
Le praticien devra être prudent et critique en regard de la radiographie et ne jamais fonder ses décisions thérapeutiques sur leur seule interprétation mais les combiner avec les autres moyens de diagnostic ainsi qu'avec l'examen clinique.
La présence d'artefacts comme les brûlures des collets, les zones radioclaires sous une restauration dues à des matériaux faiblement radio-opaque, les matériaux de restauration radioclairs devront être reconnus comme tels car ils pourront fortement influencer le praticien et l'induire en erreur.

II.3.6. Apport des nouvelles technologies

II.3.6.1. *Optiques*

II.3.6.1.1. Aides Optiques

Il est de plus en plus conseillé de réaliser l'examen clinique avec une aide visuelle.
Les aides optiques regroupent dans leur catégorie les loupes ainsi que les microscopes.

II.3.6.1.2. Imagerie numérique

Cette catégorie regroupe les caméras intrabuccales. En plus d'aider au diagnostic, elles sont un vecteur pédagogique pour le patient.
Le système DIFOTI (*Digital Imaging Fiber Optic TransIllumination*) couple l'apport d'un faisceau de transillumination à une caméra intrabuccale.

II.3.6.2. *Fluorescence*

La fluorescence consiste en l'absorption d'une lumière de haute énergie par un objet puis réémise à plus basse énergie par ses composants. Au sein de l'organe dentaire, la fluorescence observée provient de sa partie organique.

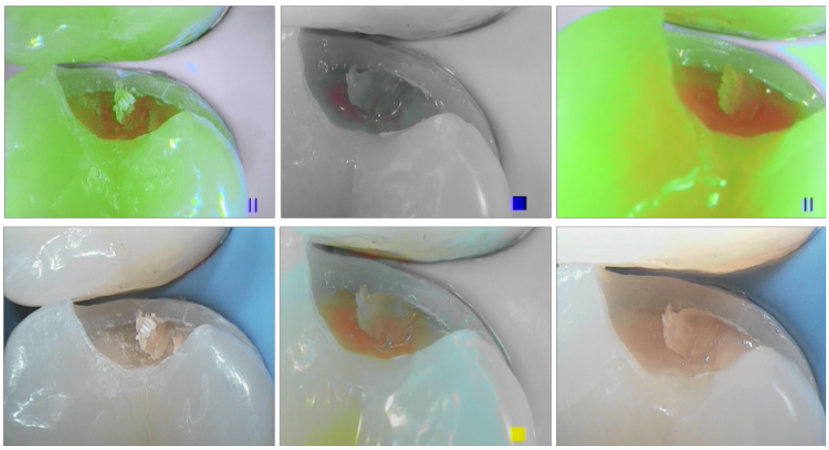


Figure 7 : Utilisation de la Fluorescence sur une carie Occluso-Proximo-Palatine d'une 24

II.3.6.2.1. Caméras intra-orales utilisant la fluorescence

Elles dérivent du système QLF® et DIAGNODENT®. La fluorescence émise par l'organe dentaire est recueillie puis analysée par un logiciel de traitement d'image. L'émail sain sera visible en vert tandis que l'émail poreux tendra vers le bleu. Les lésions, en fonction de leur profondeur, tendront vers le rouge voire le brun foncé. On retrouve sur le marché les caméras VistaProof® de Dürr Dental ainsi que la Sopro-Life® d'Acteon.

II.3.6.2.2. Technique QLF

La technique QLF (*Quantitative Light Fluorescence*) consiste en l'émission d'une lumière émise par arc xénon ou laser argon dans les longueurs d'onde des bleus. Une fois absorbée par la dent et réémise, la fluorescence est captée, traitée par un filtre supprimant le bleu et retransmise sur un moniteur.

II.3.6.2.3. Fluorescence laser infrarouge (DiagnoDent)

Il fut utilisé par Hibst et Paulus courant 1999 pour la détection des caries non cavitaires. Le degré de déminéralisation est apprécié par une valeur allant de 1 à 99. Ce système est considéré comme fiable pour objectiver les lésions carieuses initiales des défauts de la dent (puits et sillons) ainsi que des surfaces lisses.

II.3.6.3. *Utilisation des influx électriques*

Le principe consiste à relever des valeurs de conductance et d'impédance (résistance au passage du courant). Un émail immature ou poreux due à la déminéralisation verra sa conductance augmenter et sa résistance au passage du courant diminuer en raison de la présence de nombreux électrolytes. Cependant, il est difficile d'obtenir, d'une visite à l'autre les mêmes conditions de mesure, celles-ci variant en fonction de l'environnement buccal et de facteurs opérateur dépendants.

II.3.6.4. *Numérisation de la radiographie*

Le passage de la radiographie argentique à la radiographie numérique apporte différents avantages :

- Facilité de stockage des clichés
- Manipulation identique à celle des clichés conventionnels (capteurs sans fil)
- Résolution identique

Les logiciels du marché permettront d'en améliorer la résolution par traitement de l'image, de comparer une évolution carieuse dans le temps par superposition de clichés par exemple.

III. PROPRIETES BIOMECANIQUES DES TISSUS DENTAIRES (1,10–12)

Afin de mieux cerner les processus pathologiques de l'agression des tissus dentaires, il est nécessaire d'en connaitre histologiquement et mécaniquement leurs différents aspects.

III.1. L'Email

III.1.1. Biologie Amélaire

L'émail dentaire, de nature cristalline, tissu le plus externe recouvrant la couronne dentaire, joue un rôle mécanique dans la solidité de l'organe dentaire et protège le complexe pulpo-dentinaire. Il possède un aspect brillant, une dureté élevée, une couleur blanche.
Il est issu du développement de cellules épithéliales, les *améloblastes* ; dans un premier temps sous forme de gel extracellulaire (contenant les multiples protéines amélaires), il se minéralisera par la suite grâce à une saturation calcique et phosphatique importante menant à la formation des prismes d'hydroxyapatite.
La couche d'émail bordant la jonction amélo-dentinaire est appelée **couche d'émail aprismatique interne**. Elle confère, en relation avec la dentine minéralisée, une grande résistance à leur jonction (1).

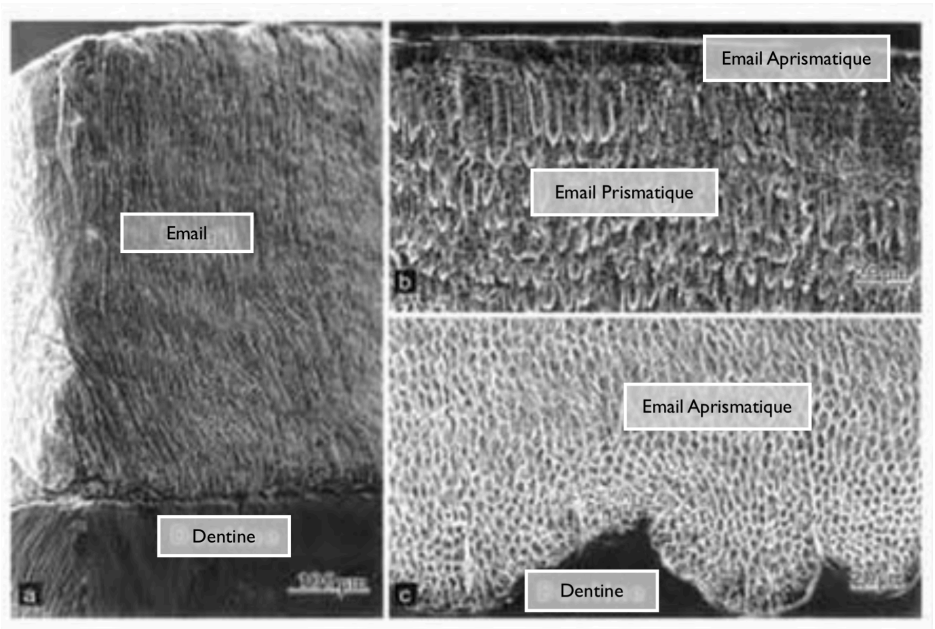


Figure 8 : Microphotographies en microscopie électronique à balayage de la structure amélaire ; (a) La couche prismatique de l'émail forme la majorité de l'épaisseur amélaire ; (b) L'émail de surface est dépourvu de bâtonnets ; (c) Couche amélaire bordant la jonction amélodentinaire (12)

Les prismes amélaires continueront leur maturation jusque tard dans le développement de l'organe dentaire. En effet, ces derniers, immatures même après l'éruption, présenteront une susceptibilité accrue à l'absorption de fluorures, mais aussi à la carie.

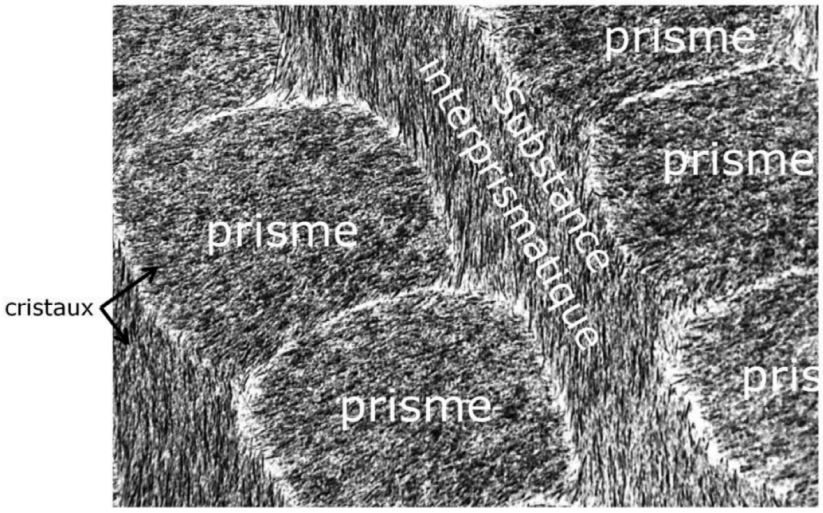


Figure 9 : Email prismatique, Microscopie électronique à transmission (13)

III.1.2. Composition et Structure

L'émail dentaire, une fois maturé, se compose :

- À **90%** d'une **phase minérale**, représentée par un enchevêtrement ordonné de longs prismes d'hydroxyapatite. Entre ces prismes, l'émail interprismatique possède une orientation radicalement différente puisque l'on observe une variation d'angulation d'environ 60 degrés, vis-à-vis de l'alignement commun des prismes. Leur composition chimique est la suivante : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$.
  Aux extrémités interne et externe de l'émail, deux fines couches d'émail aprismatique entourent les prismes (de 20 à 80 microns).

- À **2%** d'une **phase organique**, représentée par des protéines dites amélogénines ainsi que par des protéines non amélogénines (énaméline, améloblastine, tufteline, amélotine). Des traces lipidiques font, elles aussi, partie de la composition de la phase organique.

- À **8%** d'une **phase aqueuse**

III.1.3. Propriétés Mécaniques

Les propriétés mécaniques connues à l'émail sont les suivantes (1) :

- Ténacité (résistance à la propagation des fissures) : 0,6 – 0,7 MPa.$m^{1/2}$
- Résistance au cisaillement : 90 MPa
- Module d'élasticité : 84,1 GPa
- Dureté : 343 KHN (kg/mm2, Dureté Knopp) – 408 HVN (kg/mm2, Dureté Vickers)
- Résistance en traction: 10,3 MPa
- Résistance à la compression: 384 MPa

III.1.4. Implications Cliniques

L'émail est un tissu unique, capable de se reminéraliser en cas d'atteinte acide. Il confère aux dents une coque protectrice en surface, une esthétique particulière grâce à son opalescence. L'émail possède une résistance mécanique lui permettant de supporter les cycles masticatoires. En effet, l'émail est capable de se déformer sous la contrainte masticatoire sans déformation plastique (résilience). On retrouve en général une minéralisation ainsi qu'une épaisseur supérieure au niveau des bords incisifs et des cuspides, lui permettant de supporter les fonctions occlusales.
De plus, l'émail constitue une barrière entre la dentine perméable et le milieu buccal. En effet, il est en première ligne lors des attaques acides et subit des cycles de minéralisation/déminéralisation tout au long de la vie. En captant les fluorures, l'émail se renforce vis-à-vis de la déminéralisation. Les cristaux de fluoroapatite sont plus stables que les cristaux d'hydroxyapatite.
D'un point de vue plus longitudinal, l'émail est révélateur du vécu de l'organe dentaire en fonction des usures de surface qu'il peut, ou non, présenter, des caries de surface, des opacités, des dyschromies (1).

III.2. Le Complexe Pulpo-Dentinaire

III.2.1. La Dentine

La dentine représente la majorité de la masse de l'organe dentaire. Elle se situe sous l'émail coronaire et sous le cément radiculaire. Sa sécrétion, par les *odontoblastes* se fait de manière continue lors de la vie de la dent.

III.2.1.1. *Formation : La Dentinogenèse*

La dentinogénèse débute après polarisation des *odontoblastes* et sécrétion d'une trame collagénique ainsi que de protéines non collagéniques. Sa sécrétion est centripète, en direction de la pulpe. La couche la plus externe de cellules pulpaires est constituée d'*odontoblastes polarisés* sécrétant les composants dentinaires. D'autres cellules pulpaires sous-jacentes constituent une réserve, qui, en cas d'agression et de destruction de cette couche d'*odontoblastes* dits *primaires*, prendra le relais (1,10).

L'*odontoblaste polarisé* possède un prolongement autour duquel sont sécrétés les composants dentinaires. La zone en périphérie du prolongement est appelée **prédentine** (PD), elle contient l'ensemble des composants nécessaires à la formation dentinaire mais n'est pas minéralisée. Le recul des *odontoblastes* et de leurs prolongements en direction centripète, laisse place à la progression d'un front de minéralisation appelé **métadentine** (MD), et à la minéralisation progressive de la dentine (D) néoformée. L'espace occupé par les prolongements odontoblastiques prend la forme d'un espace tubulaire, futurs tubuli dentinaires (1,10).

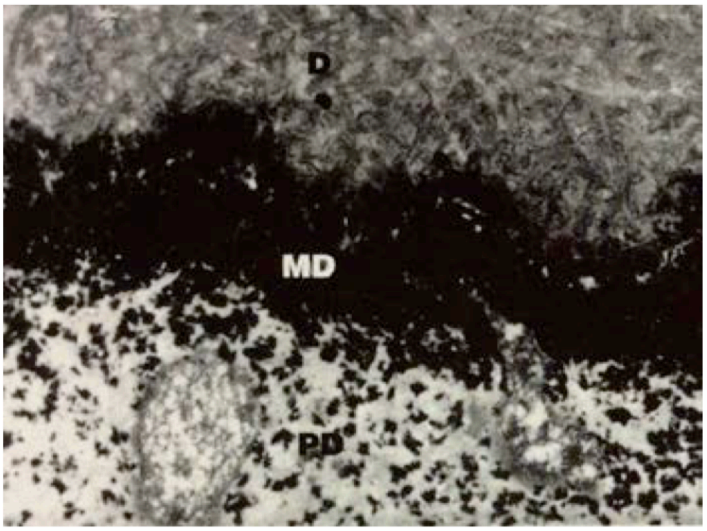


Figure 10 : Zone intermédiaire ou Métadentine imprégnée par du nitrate de lanthane ; D : Dentine ; MD : Métadentine ; PD : Prédentine (Grossissement x27000) (12)

III.2.1.2. *Composition et Structure*

La dentine, tissu minéralisé, possède un taux de minéralisation, même si inférieur à celui de l'émail, que l'on peut rapprocher de celui du tissu osseux par exemple :

- À **70%**, une **phase minérale**, constituée de cristaux d'hydroxyapatite
- À **20%**, une **matrice organique**, constituée de matériel collagénique (à 90%, de type I, III et IV) et de matériel non collagénique (protéines phosphorylées comme les SIBLINGs, DSP, DPP, DMP1, OPN, BSP, MEPE, PG, amélogénine ; et de protéines non phosphorylées comme l'ostéonectine, l'ostéocalcine, protéines du sérum, facteurs de croissance, enzymes régulatrices, phosphatase alcaline, MMP…)
- À **10%**, d'une **phase aqueuse**

La dentine est un tissu minéralisé caractérisé par la présence de tubuli dentinaires, occupés par les prolongements odontoblastiques. Sa structure canaliculaire, lui confère une perméabilité aux stimuli de nature externe (thermiques, physico-chimiques, tactiles).

Histologiquement, on appelle **dentine primaire** la dentine formée au cours de l'odontogenèse jusqu'à la mise en occlusion de la dent. Les *odontoblastes* sécrètent la dentine tout au long de la vie de la dent. On appelle alors **dentine secondaire**, la dentine formée par les *odontoblastes de première génération* après la mise en occlusion de la dent, en l'absence d'agression de l'organe dentaire. Ces dentines comportent des tubuli, elles sont dites canaliculaires.

Anatomiquement, il est possible de distinguer au sein de la masse dentinaire (1,10):

- La ***jonction amélo-dentinaire***
- La ***jonction cémentodentinaire***
- La ***couche dentinaire périphérique*** : elle est constituée par le manteau dentinaire sécrété aux premiers stades de la dentinogenèse ainsi qu'une fine couche de dentine canaliculaire. Cette couche est hypominéralisée, dépourvue de tubuli (pour le manteau dentinaire).
- La ***couche dentinaire circumpulpaire*** : il s'agit d'une zone hypominéralisée dans laquelle se trouvent des canalicules larges reliés entre eux par des espaces créés par les ramifications secondaires des prolongements odontoblastiques nécessaires aux échanges. Elle se compose de dentine ***intercanaliculaire***, et de dentine ***péricanaliculaire*** voire ***intracanaliculaire***. Cette dernière, déposée secondairement en périphérie du tubulus, en réduit progressivement le diamètre de sa lumière.

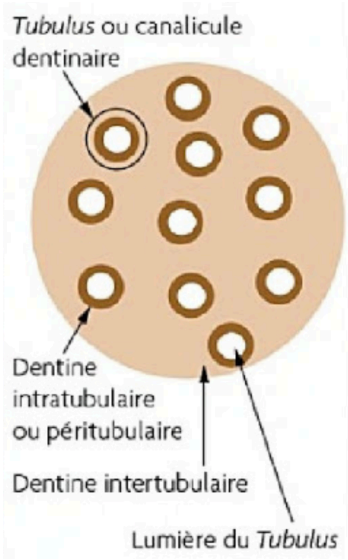


Figure 11 : Description schématique de la structure canaliculaire de la dentine (10)

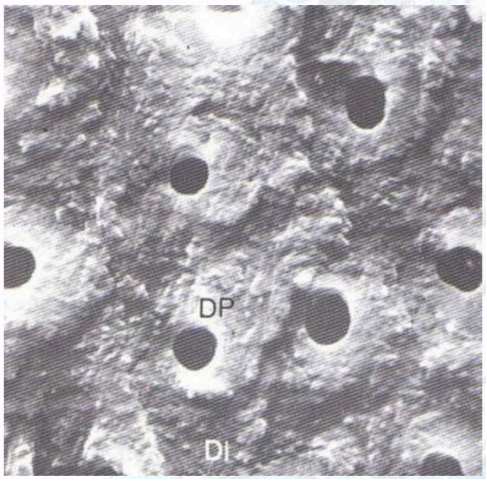


Figure 12 : Réseau tubulaire à 1mm de la pulpe, Microscopie électronique à balayage, DP : Dentine Péricanaliculaire ; DI : Dentine intercanaliculaire (12)

La répartition canaliculaire est inégale au sein de l'épaisseur dentinaire. En effet, leur densité se voit augmentée à proximité pulpaire, reflétant la confluence des *odontoblastes* et leur migration centripète progressive.

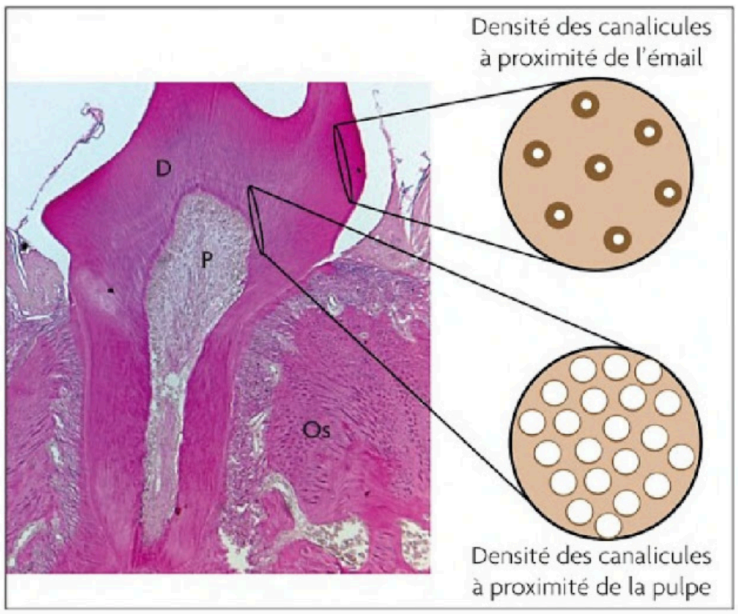


Figure 13 : Représentation schématique de la densité canaliculaire en fonction de la profondeur dentinaire, (D : Dentine ; P : Pulpe) (11)

Histologiquement, la **dentine tertiaire** résulte d'une dentinogénèse cicatricielle à la suite d'une agression de l'organe dentaire. On distingue deux types de dentine tertiaire :

- La **dentine réactionnelle**, sécrétée par les *odontoblastes de première génération* non affectés par l'agression. De nature canaliculaire, sécrétée lentement, cette dentine tertiaire est observée en cas de lésions superficielles, et de lésions à progression lente. Elle fait continuité avec la dentine secondaire existante. Histologiquement, la zone de stimulation odontoblastique est délimitée par une ligne dite calcio-traumatique.

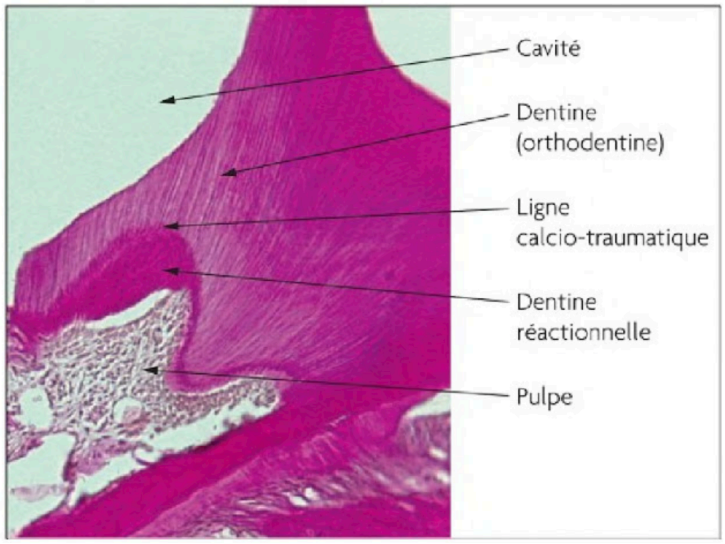


Figure 14 : Coupe histologique frontale d'une molaire de souris après obturation coronaire (5 semaines postopératoires) (10)

- La **dentine réparatrice** est sécrétée lorsque la couche odontoblastique de première génération (cellules post-mitotiques donc non régénérables) est détruite en cas d'agression plus sévère. Sa sécrétion est rapide, sa nature est atubulaire. Sa sécrétion est issue des *odontoblastes de première génération* bordant la zone agressée et non atteints, ainsi que par la différenciation de *cellules filles non odontoblastiques* issues de la dernière mitose odontoblastique et de *cellules souches en attente* (stem-cells) *de la couche de Höhl*, sous l'action de signaux moléculaires tels que les facteurs de croissance. Après exposition pulpaire, la mise en place d'un matériau approprié permet l'apparition d'un pont dentinaire en quelques semaines.

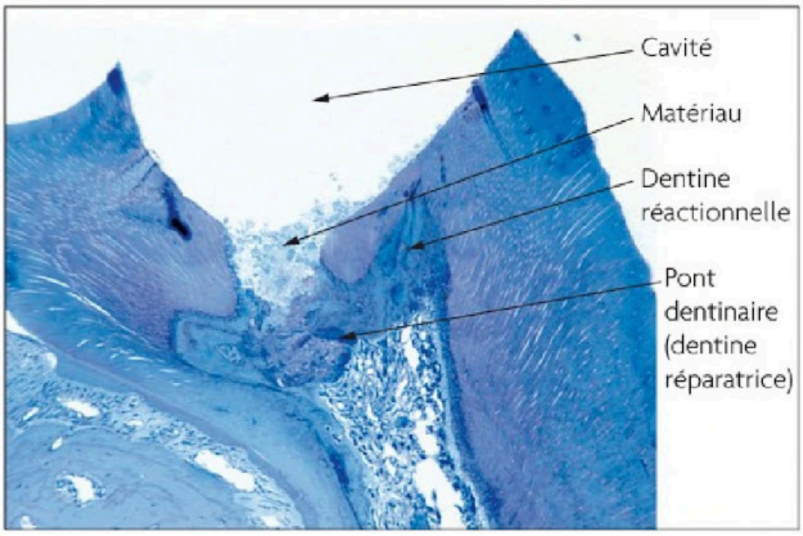


Figure 15 : Pont dentinaire obtenu 5 semaines après coiffage pulpaire avec du MTA® sur une première molaire maxillaire de souris (coupe semi-fine, grossissement x50, bleu de méthylène/bleu azur II. Barre = 200 microns) (10)

III.2.1.3. *Propriétés Mécaniques*

Les propriétés mécaniques connues à la dentine sont les suivantes :

- Ténacité (résistance à la propagation des fissures) : 3,1 MPa.$m^{1/2}$
- Résistance au cisaillement : 138 MPa
- Module d'élasticité : 18,3 GPa
- Dureté : 68 KHN (kg/mm^2, Dureté Knopp) – 90 KHN (kg/mm^2, Dureté Vickers)
- Résistance en traction: 98,7 MPa
- Résistance à la compression : 297 MPa

III.2.1.4. *Vieillissement*

La dentinogenèse est un phénomène continu mais ralentissant au cours de la vie de la dent. L'apposition continue de cette dentine secondaire aboutira à un cloisonnement progressif du volume pulpaire en direction centripète, parfois non homothétique. Cette sécrétion dentinaire, s'accompagne au fil du temps de la disparition progressive et du recul des *odontoblastes*. Les canalicules laissés vacants se minéralisent au fil du temps par précipitation. Une sclérose des espaces tubulaires s'observe à mesure que le vieillissement de l'organe dentaire se produit.

III.2.1.5. *Implications Cliniques*

La dentine, par sa porosité, ses zones hyperminéralisées et hypominéralisées, possède une très bonne capacité de résilience sous la contrainte. Les différentes variations de densité et de porosité canaliculaire pourront influencer le résultat de nos techniques adhésives. En effet, le rapport entre les surfaces inter-tubulaires et le nombre de tubuli, la quantité d'eau présente dans les tubuli, le degré de minéralisation (ex : dentine sclérotique) interfèrera sur notre choix du système adhésif ainsi que sur le résultat de ce dernier. Une zone sclérotique associée à une faible teneur en eau limitera la présence de collagène et donc diminuera le potentiel d'adhésion. La boue dentinaire, émise par nos manœuvres mécaniques, pourra obstruer les orifices tubulaires. Certains canalicules, partiellement ou totalement oblitérés par les produits issus de l'activité cellulaire physiologique ou de défense, confèrent à la dent une perméabilité jusqu'à la pulpe différente. Ces modifications devront être prises en compte lors du choix des matériaux.

III.2.2. La Pulpe Dentaire

III.2.2.1. *Formation et Développement*

De nature conjonctive, la pulpe a la même origine embryologique que le tissu voisin, à savoir la dentine. Elles sont toutes deux issues de la *papille ectomésenchymateuse*.
Une fois les cellules les plus externes de la *papille ectomésenchymateuse* différenciées en *odontoblastes sécrétants*, on observe la différenciation des cellules sous-jacentes en *fibroblastes* et un enrichissement vasculaire et nerveux. La sécrétion dentinaire emprisonnera cette zone dans une cavité minéralisée. La pulpe assurera ses échanges extérieurs vasculaires et nerveux via le foramen apical ainsi que les formina secondaires.

On divise la cavité pulpaire en deux zones distinctes :

- la **chambre pulpaire** : comportant les cornes pulpaires liées à l'anatomie occlusale
- le **canal radiculaire** : lieux d'échange avec l'extérieur via les ramifications canalaires latérales et apicales

III.2.2.2. *Composition*

La pulpe, tissu conjonctif lâche, n'est pas minéralisée. Elle contient **75% d'eau** et **25% de matériel organique** constitué de cellules pulpaire entourées de matrice extracellulaire.

En périphérie pulpaire, la zone dite dentinogénique se constitue de 3 couches :

- La ***couche odontoblastique sécrétante*** (O), constituée d'*odontoblastes primaires*, hautement différenciés, constituant une palissade en périphérie pulpaire.
- La ***couche acellulaire de Weil*** (W)
- La ***couche sous odontoblastique de Höhl*** (SO), riche en *cellules indifférenciées* (majoritairement retrouvées près des vaisseaux sanguins)

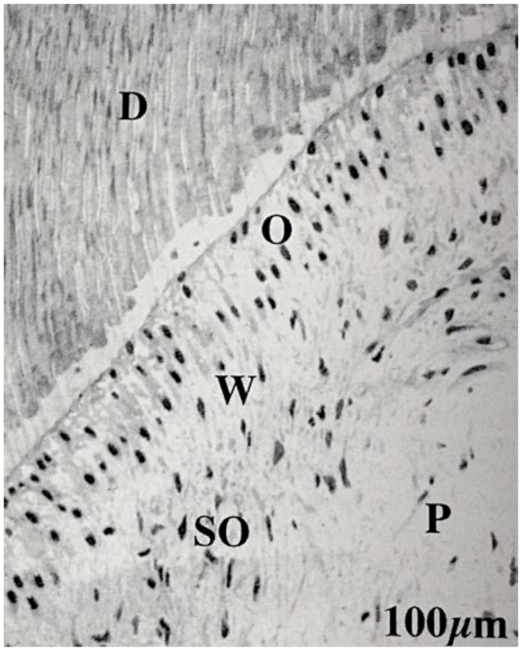


Figure 16 : Structure générale de la région pulpaire dentinogénétique (Grossissement x100) (12)

Plus profondément, on retrouve la ***zone pulpaire centrale*** (P), riche en *fibroblastes* (très actifs dans la pulpe jeune), *cellules indifférenciées* et cellules de défense (*cellules présentatrices d'antigènes* et *lymphocytes T*).

L'innervation pulpaire afférente et efférente des systèmes nerveux sensoriels et autonome pénètrent par les mêmes orifices que les vaisseaux sanguins. La vascularisation occupant 5% du volume pulpaire est couplée à un réseau lymphatique très performant.

La matrice extra cellulaire pulpaire se compose de collagène (Type III, IV, V et VI), de glycosaminoglycanes, de glycoprotéines (fibronectine, élastine, lipides et MMP).

III.2.2.3. *Implications Cliniques*

Les principales fonctions du tissu pulpaire sont :

- La formation des différentes dentines
- Une surveillance immunitaire, vecteur d'inflammation en réponse aux agressions de l'organe dentaire
- Transmettre les informations sensorielles (stimuli) au système nerveux central

Le processus lésionnel carieux, processus pathologique, progresse en direction pulpaire. Il est donc nécessaire de l'arrêter avant toute atteinte irréversible de l'organe pulpaire. Nous avons à l'heure actuelle à notre disposition un ensemble de biomatériaux, certains à visée thérapeutique pulpaire, ainsi que d'autres à visée thérapeutique bactérienne et restauratrice dont le choix sera prépondérant dans le succès de la thérapeutique.

IV. BIOMATERIAUX DE PRESERVATION DE LA VITALITE PULPAIRE (1,10,11)

Il arrive parfois, dans le cadre de traumatismes ou tout simplement par mégarde, de se retrouver avec une effraction de la pulpe. Dans le cas d'une exposition pulpaire faible, le tissu pulpaire pourra être protégé par un matériau de coiffage (11).
La thérapeutique pulpaire a pour but de maintenir le tissu pulpaire vivant. Elle regroupe selon un gradient thérapeutique : les actes de coiffage pulpaire, de pulpotomie superficielle, de pulpotomie coronaire totale et d'apexogenèse, et enfin d'apexification. En fonction de l'extension de l'inflammation, la pulpe coronaire devra être éliminée, et ce à différents degrés, allant de la pulpotomie superficielle à la pulpotomie coronaire totale. Dans le cadre du traitement d'une lésion carieuse profonde, il est logique, dans la mesure du possible, de ne pas en arriver à exposer le tissu pulpaire lors des manœuvres d'excavation.

Actuellement, lors d'une lésion carieuse profonde, deux visions s'opposent : l'éviction totale du tissu dentinaire infecté, et l'éviction partielle de la dentine atteinte.
Certains auteurs conseillent d'employer cette éviction partielle qu'en l'absence de symptômes (1). De plus, en présence d'une lésion carieuse profonde, la probabilité de mise en cause des systèmes défensifs et réactionnels du tissu pulpaire est élevée.
L'un des déterminants principaux à cerner est l'activité de la carie. En effet, en cas de lésion progressant lentement voire arrêtée, il est logique de penser que le pronostic de maintien de la vitalité pulpaire à la suite du traitement sera bon.
Là encore, en cas de lésion active, certains auteurs vont même jusqu'à conseiller une éviction dentinaire en plusieurs temps chirurgicaux, au cours de séances successives, prônant l'avantage d'une réduction progressive de l'activité de la lésion, améliorant le pronostic de la thérapeutique et diminuant le risque d'exposition pulpaire lors des manœuvres opératoires (méthode StepWise) (11). La méthode StepWise ne sera pas une méthode à retenir. En effet, après chaque éviction sélective en direction centripète, un matériau de coiffage indirect temporaire est mis en place afin de provoquer une dentinogenèse tertiaire et ainsi augmenter le taux de réponse pulpaire face à l'agression. Afin de réaliser la restauration définitive, le matériau de coiffage temporaire était retiré totalement puis remplacé. Le taux d'effractions pulpaires lors du retrait du biomatériau temporaire était alors trop important. Le traitement par éviction partielle en une étape réduit de près de 45% le risque d'exposition pulpaire par rapport à la méthode StepWise (14).

Une fois la quantité nécessaire de dentine infectée excavée, le reste de dentine infectée sera scellée à l'aide d'un biomatériau dentaire afin d'emprisonner les bactéries cariogènes aérobies, les privant de tout apport d'oxygène et nutritifs, entrainant ainsi la progressive cicatrisation du tissu dentinaire laissé en fond de cavité : c'est le **coiffage pulpaire indirect**.
D'après Corralo & Maltz, l'excavation des parties superficielles de la dentine affectée ainsi que sa restauration, même par un matériau inerte suffirait à arrêter le mécanisme lésionnel carieux (15). La manœuvre de coiffage pulpaire indirect a donc pour but de supprimer l'agression, de mettre en place une dentinogénèse aux points d'inflammation pulpaires, de supprimer progressivement cette inflammation, de reminéraliser progressivement la dentine affectée et, bien sûr, de sceller la cavité carieuse.

Lors de l'exposition de la pulpe dentaire provoquée suite à une préparation mécanique cavitaire profonde ou un traumatisme, le coiffage pulpaire direct consiste en l'application « immédiate » d'un pansement occlusif. L'effet attendu consiste en la cicatrisation et la réparation tissulaire par formation de dentine tertiaire réparatrice formant un pont dentinaire en regard de la zone atteinte. Cette opération clinique est appelée **coiffage pulpaire direct**.
En cas d'exposition pulpaire trop importante ou d'une contamination jugée trop sévère, une élimination superficielle du tissu pulpaire atteint peut être effectuée (pulpotomie partielle), puis après désinfection, un matériau de coiffage sera appliqué de la même manière afin de protéger le reste de tissu pulpaire vivant et non affecté (11).

D'après American Association of Endodontists : *Glossary of endodontic terms*, Chicago, 2012, The Association:

Le **coiffage pulpaire** désigne le traitement d'une pulpe vivante exposée dans laquelle la plaie est scellée avec un matériau dentaire, tel que l'hydroxyde de calcium ou l'agrégat minéral de trioxyde (MTA), pour faciliter la formation de la dentine de réparation et le maintien de la pulpe vivante.

Le **coiffage pulpaire direct** consiste à placer un matériau directement sur la plaie de la pulpe vivante exposée à la suite d'une agression mécanique ou traumatique.

La **pulpotomie partielle** (ou pulpotomie superficielle ; ou pulpotomie de Cvek) consiste en l'ablation chirurgicale d'une petite partie malade de la pulpe vivante comme un moyen de préserver la pulpe coronaire et radiculaire restante.

Le fait d'appliquer un matériau extérieur sur, ou à proximité d'un tissu aussi sensible que le tissu pulpaire nécessite deux conditions majeures : la non nuisance du matériau de coiffage à l'intégrité et la vitalité du tissu pulpaire, ainsi que, dans la mesure du possible, des propriétés d'activation des mécanismes de régénération, de réparation dentinaire et de défense du tissu pulpaire afin qu'une barrière protectrice se réalise entre le matériau de coiffage et le tissu pulpaire. Ces concepts dits de ***biocompatibilité*** et de ***bioactivité*** seront évalués dans l'étude à venir des différents matériaux de coiffage.

Biomatériau : Un biomatériau est un matériau non vivant utilisé dans un dispositif médical, à des fins thérapeutiques ou non, et appelé à interagir avec les systèmes biologiques (16).

Biocompatibilité : La biocompatibilité est la capacité d'un biomatériau à remplir une fonction spécifique avec une réponse appropriée de l'hôte (16).

Bioactivité : Composant ayant la capabilité d'interagir avec un ou plusieurs éléments du tissu vivant en présentant un large éventail d'effets probables (17).

Il reste cependant important d'avoir à l'esprit que l'inflammation pulpaire reste une affection évolutive et progressive. La thérapeutique pulpaire nécessite donc une bonne compréhension de la part de l'opérateur des mécanismes biologiques en cause, un parfait respect des protocoles d'étanchéité du champ opératoire et de coiffage, la stérilité des instruments manuels et rotatifs utilisés afin de supprimer le facteur infectieux opérateur-induit, ainsi qu'une sélection et une compréhension des cas cliniques en présence pertinente (11).

Les indications actuelles du coiffage pulpaire direct sont : l'exposition accidentelle de la pulpe durant les manœuvres d'excavation tissulaire, l'exposition traumatique ainsi que l'exposition infectieuse due à la carie profonde elle-même, bien que le pronostic pour cette dernière reste discutable en raison de l'extension de l'infection (11).
L'obtention d'un pronostic reproductible dépendra de l'appréciation par l'opérateur de la symptomatologie pulpaire, de l'extension de l'infection pulpaire et du mécanisme inflammatoire (11).

La symptomatologie du tissu pulpaire est reprise dans la **Classification de Baume**.

- **Catégorie I de Baume** : pulpes vivantes sans symptomatologie, lésées accidentellement ou proche d'une carie profonde susceptible d'être protégées par coiffage.
- **Catégorie II de Baume** : pulpes vivantes avec symptomatologie, dont la vitalité pulpaire peut être protégée par coiffage ou biopulpotomie.
- **Catégorie III de Baume** : pulpes vivantes dont la biopulpectomie suivie d'une obturation radiculaire immédiate est indiquée pour des raisons esthétique, iatrogène, prothétique ou pronostique.
- **Catégorie IV de Baume** : pulpes nécrosées avec en principe infection de la dentine radiculaire accompagnée ou non de complications périapicales exigeant un traitement canalaire antiseptique et une obturation hermétique.

La sélection des cas pouvant être considérés par l'opérateur comme des candidats idéaux au coiffage pulpaire direct s'orientera sur des dents répondant aux catégories I et II de la classification de Baume. L'exposition pulpaire devra être de petite taille, de préférence inférieure à 0.5mm.
Un soin tout particulier devra être apporté à l'hémostase du tissu pulpaire enflammé. Ce dernier devra être retiré partiellement tant que sa nature et sa santé ne permettra pas une hémostase de qualité. La qualité des tissus marginaux et le joint qu'ils entretiendront avec le matériau de restauration devront être de la plus grande qualité possible (11). L'utilisation des lasers permettrait de bons résultats sur le plan de l'hémostase et de la décontamination tissulaire lors du protocole de coiffage pulpaire direct (18).

Les matériaux de coiffage pulpaire direct, tels que la Biodentine™, le MTA® par exemple ont pour but la protection pulpaire contre les stimuli thermiques, chimiques et autres phénomènes néfastes de l'environnement pulpaire.
Les premières générations de matériaux à base de silicate tricalcique tels que le MTA® se sont montrés inaptes à être laissés sous le matériau de restauration définitif.
Les matériaux de deuxième génération à base de silicate tricalcique comme la Biodentine™ et le TheraCal LC ® ont alors été développés pour pallier aux désavantages du MTA® (19).

Nous étudierons à tour de rôle les avantages et inconvénients de 4 matériaux sur le marché tels que le Mineral Trioxide Aggregate, le TheraCal LC®, l'Hydroxyde de Calcium ($CaOH_2$), et la Biodentine ™. Ajoutés à cela, nous nous pencherons sur des études plus actuelles portant sur des alternatives à ces matériaux précédemment cités.

IV.1. Mineral Trioxide Aggregate (MTA®)

Le MTA® est un matériau de coiffage intéressant du fait d'une induction rapide de la formation du pont dentinaire et d'une facilité d'utilisation. En revanche, les dyschromies qu'il entraine et son cout élevé le desservent (20).
Le mordançage du MTA® entraine une atteinte structurelle et chimique du matériau. De l'aluminium migre dans le plasma et possède des effets délétères sur les organes humains. L'aluminium serait en partie responsable de la maladie de Parkinson. Le Bismuth, lui, migre dans la dent provoquant une dyschromie (19).

IV.2. TheraCal LC®

Le TheraCal LC ® est présenté comme un matériau photopolymérisable à base de résine, à utiliser comme couche intermédiaire sous un composite ou comme matériau de coiffage pulpaire direct. Il se compose d'une base de ciment Portland, d'un radio-opacifiant et d'oxyde de silicone dans une matrice résineuse. Ce matériau ne contient donc pas d'eau mais compte sur la diffusion de l'humidité de l'environnement dentinaire en son sein. Le fabricant conseille de réaliser la restauration définitive tout de suite après sa prise (19).
La mise en place de matériaux résineux au contact de la pulpe compromet sa vitalité. Les études expérimentales sur le TheraCal LC ® ont démontré cette cytotoxicité *in vitro* et *in vivo.* Le TheraCal LC ® est donc déconseillé pour la réalisation de coiffages pulpaires directs (21).

IV.3. Biodentine™

La Biodentine™ est un ciment à base d'eau présenté sous la forme d'une capsule comportant les silicates tricalciques et dicalciques, de l'oxyde de zirconium (radio-opacifiant) et des carbonates de calcium, dans laquelle sont ajoutées cinq goutes de liquide composé d'eau, de calcium, de chlore et d'un polymère hydrophile. Sa composition est dans les grandes lignes similaire au MTA® mais son temps de prise est plus court (19). Parmi les ciments à base de sels de calcium, il est celui possédant la meilleure résistance à la compression (316 MPa). La

Biodentine™ possède une très bonne tolérance à l'acidité du milieu buccal (22). Son application ne nécessite pas de conditionnement tissulaire préalable.

La Biodentine™ possède d'excellentes propriétés sur le plan de la biocompatibilité, une absence d'effet mutagènes, une absence de génotoxicité (23).

Dans leurs travaux, Jeanneau *et al.*, en comparant les effets de la Biodentine™ face à un matériau supposé de coiffage direct (TheraCal LC®) ont prouvé que la Biodentine™ améliore le degré de prolifération des *fibroblastes* pulpaires, l'expression de la Sialoprotéine Dentinaire et de la Nestine, sans pour autant entrainer d'augmentation de la sécrétion de l'Interleukine 8 pro-inflammatoire (21) (23). Après mise en place du matériau, des spots de minéralisation apparaissent sous l'influence du facteur de croissance tumoral TGF-ß1 qui stimule le recrutement de *cellules souches pulpaires*.

Concernant son étanchéité, la Biodentine™ présente une étanchéité similaire à celle obtenue avec les Ciments Verre Ionomère (Fuji II LC). Son emploi nécessite le remplissage total de la cavité de carie. La Biodentine™ pénètre les tubuli dentinaires pour former des structures minéralisées, similaires dans leur forme aux tags résineux observés avec les adhésifs dentinaires. Cette propriété permet de d'expliquer à la fois la capacité d'adhésion micromécanique et l'excellente étanchéité de ce matériau (23).

L'hydratation de ce type de matériau à base d'eau entraine la libération d'ions Calcium nécessaire à la minéralisation (23). L'étude de Meraji et Camilleri a démontré l'absence de migration calcique au sein de la dentine (19).

Utilisée en coiffage pulpaire direct, la Biodentine™ permet la formation d'un pont dentinaire étanche après 6 mois ainsi que la disparition de l'inflammation pulpaire (23).

Comparée au $CaOH_2$, la Biodentine™ présente de meilleures propriétés mécaniques du fait de sa composition moins poreuse. Le pont dentinaire crée est plus qualitatif, sans porosités ni défauts, et son étanchéité marginale est bien supérieure.
Comparée au MTA®, la Biodentine™, bien que plus facile d'utilisation, présente un temps de prise réduit n'entraine pas de dyschromies.

IV.4. Hydroxyde de Calcium

Connu comme le plus utilisé des agents de coiffage pulpaire, le $CaOH_2$ nécessite un long temps d'observation après traitement. Son taux de succès reste tout de même loin d'être satisfaisant.
Comme démontré par Chen *et al.* ainsi que Najeeb *et al.*, le pH alcalin du $CaOH_2$ lui confère un effet anti caries et antibactérien, mais peut mener à des nécroses superficielles du tissu pulpaire (effet corrosif). Les tests de biocompatibilité l'ont aussi démontré. Le $CaOH_2$ montre un effet d'inhibition de la prolifération cellulaire et peut même mener à la lyse des *cellules souches pulpaires* humaines. Néanmoins, une formation de dentine tertiaire réactionnelle est observée ainsi que d'un pont dentinaire. Ce pont dentinaire tend à présenter d'importantes

porosités et donc susceptibilités à l'infiltration bactérienne, mettant en péril la thérapeutique engagée (24).
Ce matériau se dégrade rapidement, est peu étanche et le pont dentinaire formé n'est pas d'une qualité optimale (20).

D'après Arandi, le $CaOH_2$ devrait être uniquement utilisé dans la zone la plus profonde de la cavité carieuse où l'épaisseur de dentine résiduelle ne dépasse pas les 0.5mm. Cette application de $CaOH_2$, devrait être selon lui protégée par une couche de Ciment Verre Ionomère modifié par Adjonction de Résine (CVIMAR) (25).

IV.5. Dérivés de la matrice amélaire

Dans la lignée des autres matériaux de coiffage, les Dérivés de la Matrice Amélaire (EMD) ont été proposés comme agents de coiffage pulpaire.

L'EMD est extrait et dérivé d'une dent de fœtus porcin, contenant un fort taux d'amélogénines (connues comme inductrices de la croissance et de la prolifération des cellules du ligament parodontal) au sein d'Alginate de Propylène Glycol (E405), jouant le rôle de matrice dégradable.
Les études sur l'animal ont démontré que l'EMD avait un effet supérieur au $CaOH_2$ concernant l'induction de la formation du pont dentinaire et qu'il devrait donc avoir un potentiel intéressant pour le coiffage pulpaire direct ainsi que la pulpotomie coronaire partielle ou totale (20).

Les études histologiques des dents humaines ayant subi un coiffage pulpaire direct avec l'EMD ne concluent pas de supériorité de l'EMD par rapport aux autres matériaux de coiffage disponibles sur le marché.
Les résultats cliniques et radiologiques montrent que l'efficacité de l'EMD est comparable là aussi aux autres matériaux de coiffage et de pulpotomie comme le $CaOH_2$ et le MTA® en particulier. Certains articles analysés dans cette étude suggèrent de moindres suites opératoires avec l'EMD (20)

Bien que l'EMD soit utilisable et efficace dans de nombreuses disciplines odontologiques, les études actuelles peinent à démontrer une efficacité réelle concernant la thérapeutique de la pulpe vivante. Néanmoins, les études actuelles ne proposent des reculs supérieurs à 24 mois. Une période de suivi supérieure serait nécessaire pour démontrer ou non l'efficacité à long terme de l'EMD dans la thérapeutique de la pulpe vivante (20).

IV.6. Treated Dentin Matrix Paste

Dans leurs travaux, Chen *et al*. ont tenté de trouver une alternative au $CaOH_2$, matériau ayant tendance à entrainer une formation de dentine réparatrice potentiellement poreuse ainsi qu'une inflammation pulpaire voire une nécrose des cellules pulpaires au contact de ce

dernier. Leur but a donc été de produire un nouveau matériau de coiffage pulpaire avec de meilleures propriétés bioactives.

La matrice dentinaire acellulaire a été considérée comme intéressante car contenant en abondance des protéines et molécules bioactives telles que la Sialoprotéine Dentinaire (DSP), le facteur de croissance TGF-ß, la Decorine, le Biglycan, la Protéine Dentinaire Matricielle 1(DMP-1), toutes jouant un rôle dans la médiation et la régulation de la prolifération cellulaire ainsi que leur différenciation. Il est connu que l'utilisation de dérivés de matrice extracellulaire spécifique d'un tissu permets de recréer les conditions nécessaires à la stimulation et la prolifération de cellules issues de ce tissu (24).

De plus, la *Treated Dentin Matrix* (TDM) possède par rapport au $CaOH_2$, le pouvoir d'activer les *cellules souches pulpaires* connues pour leurs capacités de participer à la régénération dentinaire en induisant la sécrétion de dentine, prédentine et de la couche odontoblastique (24).

Des constats liés à la perfectibilité du $CaOH_2$ est née la nécessité de développer un nouvel agent de coiffage pulpaire, ayant une meilleure biocompatibilité. Il est connu que la matrice extracellulaire contient un nombre important de promoteurs de la différentiation cellulaire.
Il a été suggéré que la « *Treated Dentin Matrix Paste* » (TDMP), mélange de poudre de TDM et d'extrait aqueux de TDM, présentait vis-à-vis du $CaOH_2$, une meilleure compatibilité biologique grâce à un pH moyen et une cytotoxicité réduite.
Afin de recréer les conditions cliniques du coiffage pulpaire, différents gradients de concentration ont été utilisés. Il en découle les observations suivantes :

- Expression précoce de la Phosphatase Alcaline et de la SialoProtéine Dentinaire pour des concentrations de TDMP hautes par rapport aux groupes avec concentrations faibles
- Promotion de la différenciation odontoblastique plus précoce lorsque la concentration est élevée
- Les cellules ayant reçu de faibles concentrations de TDMP se différencient parfois selon la lignée odontogénique et produisent de la dentine minéralisée
- Une concentration faible entraine la prolifération tandis qu'une concentration haute entraine la différenciation de la lignée odontoblastique. La réponse cellulaire semble donc gradient-dépendante et affectée par la diffusion des biomolécules ainsi que la position du tissu pulpaire dans la chambre (rétraction).

Le pont dentinaire formé à la suite du coiffage pulpaire avec la TDMP ne présente pas de défauts de porosité, et est plus épais que celui formé avec le $CaOH_2$.
Les résultats *in vivo* ont aussi démontré la supériorité du TDMP par rapport au $CaOH_2$. De plus, les expositions pulpaires de cette étude étaient de 2mm, ce qui est bien supérieur aux indications actuelles de 0.5mm, ce qui renforce les conclusions.
La question du rejet des greffons allogéniques se pose du fait de la réponse du complexe majeur d'histocompatibilité. Dans le cas de la TDM comme de la TDMP, la fraction cellulaire a été éliminée de manière mécanique, rendant le biomatériau non immunogène.
Certains problèmes restent encore à régler. En effet le TDMP ne possède pas une viscosité optimale et tend à s'invaginer dans le défaut dentinaire, réduisant alors la taille de la chambre

pulpaire. Les études à venir devront se concentrer sur ce dilemme, à savoir l'ajout d'excipients au TDMP sans compromettre la biocompatibilité du matériau (24).

V. BIOMATERIAUX RESTAURATEURS DEFINITIFS ET SUBSTITUS DENTINAIRES

En cas de coiffage pulpaire direct antérieur, la force d'adhésion entre le matériau de restauration définitif et le matériau de coiffage pulpaire est déterminant pour le succès de la thérapeutique.
Il en est de même en présence de lésion carieuses profondes ne nécessitant pas de thérapeutique pulpaire particulière. Le matériau utilisé devra être au moins biocompatible, si ce n'est bioactif.

V.1. Systèmes Adhésifs Bioactifs

Les adhésifs amélo-dentinaires sont des biomatériaux d'interface. Leur rôle est de contribuer à la formation d'un lien adhérent et étanche entre les tissus dentaires calcifiés et des biomatériaux de restauration ou d'assemblage (26).

V.1.1. Propriétés des systèmes adhésifs

En matière d'adhésion des résines composites modernes, deux stratégies s'opposent. Toutes deux basées sur la gestion de la boue dentinaire, on distingue les systèmes Mordançage Rinçage (M&R) et les Systèmes Auto-Mordançants (SAM). Quel qu'en soit le nombre d'étapes, les systèmes M&R ont pour but d'éliminer la boue dentinaire. De leur côté, les systèmes SAM ne la dissolvent pas et l'utilisent comme substrat de collage.
La ***couche hybride***, après mordançage dentinaire, ouverture des tubuli et exposition des fibres collagéniques hydrophiles, est formée grâce au caractère amphiphile des primaires d'adhésion. Ces derniers permettent l'infiltration de l'adhésif dentinaire hydrophobe au sein des tubuli hydrophiles afin de former des tags résineux dans le réseau canaliculaire.
La couche hybride constitue un joint étanche protégeant l'organe pulpaire de l'infiltration bactérienne, des effets de pompage, ainsi que des agressions externes (thermiques, chimiques), et donc réduisent le risque de sensibilités dentinaires (27).
En tant que résine très peu chargée, l'adhésif dentinaire a pour rôle d'amortir les contraintes reçues par la restauration sus-jacente.

V.1.2. Bioactivité

Les adhésifs dentinaires sont souvent le talon d'Achille des restaurations par résine composite. Les micro-espaces formés à leur interface, soit avec le composite soit avec la dentine, sous la contrainte de polymérisation des résines, ou le défaut d'utilisation de l'opérateur, sont le siège d'infiltrations bactériennes responsables de ce que l'on appelle ***caries secondaires***, se développant sous les restaurations existantes. La composition de ces adhésifs a donc été revue de manière à essayer d'augmenter la force d'adhésion ainsi que de combattre les agents bactériens.

L'activité antibactérienne peut se résumer à deux buts :

- l'élimination des bactéries rémanentes du fond cavitaire
- empêcher la colonisation bactérienne des marges de la restauration sans compromettre la force d'adhésion.

Les méthacrylates d'amines quaternaires (QAMs) ont donné d'excellents résultats quant à l'élimination des bactéries au sein du biofilm pathogène. De plus, afin d'augmenter l'effet d'inhibition bactérienne, le 12-MethacryloyloxyDodecyl-Pyridinium Bromide (MDPB) est copolymérisé au sein de la structure résineuse.

Une concentration de QAMs égale à 10% permettrait d'éliminer la quasi-totalité des souches de *Streptococcus Mutans* enchâssées dans un biofilm tridimensionnel. De plus, une concentration élevée d'agents antibactérien permettrait d'éliminer les souches bactériennes dans l'environnement proche de la résine. En effet, les charges positives apportées par l'agent antibactérien induiraient des signaux accélérant l'apparition de la Mort Cellulaire Programmée (ou apoptose) des souches bactériennes. Cette capacité à moduler l'environnement résineux est dépendante de la quantité de charges apportées par la concentration d'agent bactérien dans la résine et donc de sa concentration. Au plus cette concentration se rapprocherait de 10%, au plus son efficacité sur les bactéries péri-résineuses se verrait augmentée (28).

L'ajout de d'Ammoniums Quaternaires sur les chaines méthacrylates des adhésifs dentinaires permettrait de diminuer l'accumulation de biofilm aux interfaces en contact avec le milieu salivaire, de réduire la proportion de souches bactériennes pathogènes à cette interface, telles que les *Streptococcus Mutans*, et donc prévenir la déminéralisation autour des portions marginales de la restauration (28,29).

La reminéralisation lésionnelle est l'un des axes de recherche menés ces dernières années.
L'utilisation de Nanoparticules de Calcium et Phosphate Amorphes (NACP) au sein des adhésifs dentinaires permet la libération d'ions Calcium et Phosphates menant à la reminéralisation dentinaire. Une concentration de NACP de l'ordre de 40% dans la composition de l'adhésif augmente fortement la libération d'ions calcium et phosphates sans pour autant diminuer la force d'adhésion.
De plus, la combinaison des NACP et des QAMs permet d'associer la capacité de reminéralisation à la suppression des productions acides du biofilm *in vitro* (28,29).

Les QAMs permettent la diminution de la quantité des *Streptococcus Mutans* au cours du temps, modulant de manière positive la flore bactérienne en la rendant moins pathogène et moins cariogénique. Cette modulation intervient dans une compétition bactérienne entre souches bactériennes (*S. Mutans, S. Sanguinis, S. Gordonii*) (28).

De plus, les QAMs permettraient d'atténuer la chute du pH local et diminueraient la production d'acide lactique bactérien (28).

In vitro, le MDBP n'augmente pas la toxicité de l'adhésif vis à vis des cellules pulpaires, il présente même une biocompatibilité supérieure à celle du BisGMA. Concernant les QAMs, leur concentration cytotoxique est 20 fois supérieure à celle du BisGMA (28)

In vivo, l'utilisation de ces adhésifs contenant les QAMs ainsi que les NACP, ne font pas que supprimer les souches pathogènes et les rejets acides bactériens, mais participent de par leur bonne biocompatibilité à la guérison du complexe pulpo-dentinaire (28).

Suite au développement de tels adhésifs, la question se pose autour du développement de résistances bactériennes. À ce jour, *S. Mutans* n'a développé aucune résistance malgré des expositions répétées à ces agents. Les proportions de souches bactériennes tolérantes à ces adhésifs restent cependant inconnues et nécessitent de plus grands approfondissements (28).

Bien que les recherches doivent se poursuivre, les perspectives sont à cette heure multiples quant à la combinaison de différents agents bioactifs afin de rechercher un effet anti-caries le plus optimal possible (28).

V.2. Résines Composites

V.2.1. Propriétés des résines composites

Largement utilisées de nos jours, les résines composites se composent d'une matrice organique résineuse et de charges la renforçant. La cohésion entre ces deux entités est assurée par le silane, jouant le rôle d'agent de couplage (30).
La matrice résineuse se compose de monomères « R – diméthacrylates », dérivés du Bis-GMA et des polyuréthanes, de contrôleurs de viscosité, d'agents de polymérisation (intervenant dans la photopolymérisation ou la chémopolymérisation), et parfois d'inhibiteurs de prise.
Les charges sont de type minérales, organiques ou organo-minérales. Leur taille et leur concentration ont pour effet de faire varier les propriétés du composite (l'augmentation de leur concentration et la diminution de leur taille ont pour effet d'augmenter la viscosité du matériau) (30,31).

La classification des résines composites la plus répandue se base sur la taille moyenne des particules du composant volumique majoritaire.

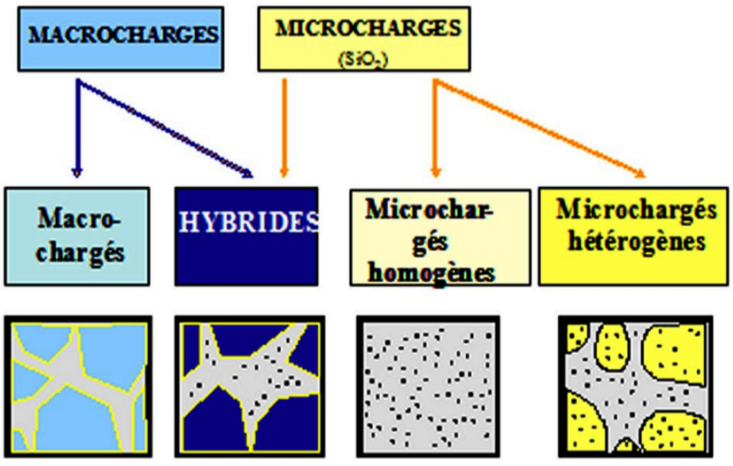


Figure 17: Classification des résines composites basée sur la taille des charges (31)

On distingue alors :

- Les composites **macrochargés**, contenant des charges de grande taille. Cette taille élevée entraine une usure plus rapide du matériau, un état de surface rugueux non favorable aux manœuvres de polissage, une certaine agressivité pour les dents antagonistes (30).
- Les composites **microchargés**, la petitesse des charges permet de pallier les défauts des macrochargés mais les propriétés mécaniques obtenues deviennent insatisfaisantes (30). De ce fait, ces composites restent destinés aux dents antérieures et à la restauration de la région cervicale par exemple. On distingue dans cette catégorie les composites microchargés homogènes (microcharges isolées) et hétérogènes (microcharges associées en complexes).
- Les composites **hybrides** contiennent des charges de différentes tailles et de différentes compositions. On distingue actuellement les macroparticules (10-100 µm), midiparticules (1-10 µm), miniparticules (0,1-1 µm) composant les composites micro-hybrides, et microparticules (0,01-0,1 µm) (30).

D'autres méthodes de classification reposent par exemple sur (30,31):

- Leur viscosité : Fluide < Moyenne < Compactable
- Leurs modes de polymérisation : Chémopolymérisable, Photopolymérisable, Dual (Chémo- et Photopolymérisables)
- Leurs indications cliniques : Antérieurs, Postérieurs ou Universels

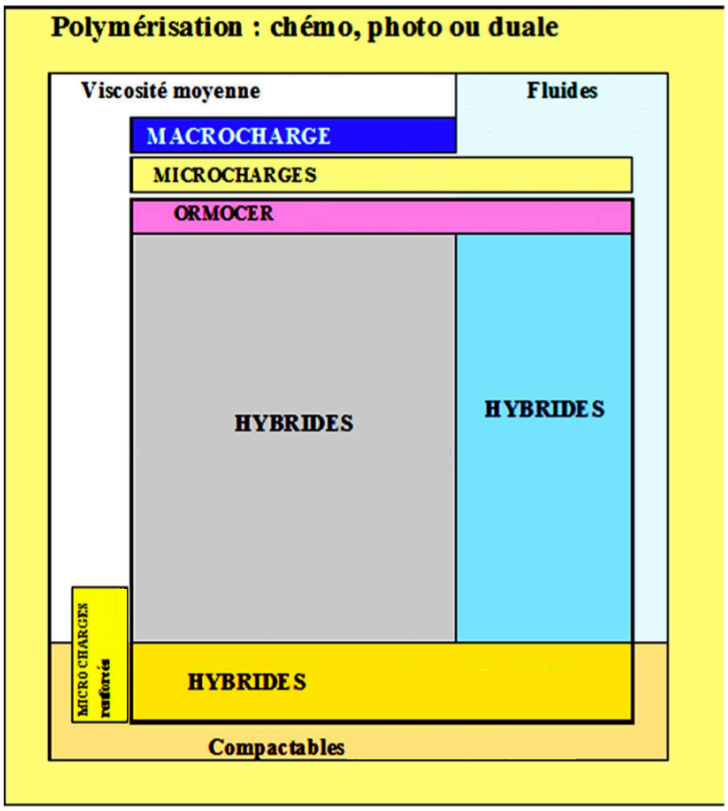


Figure 18: Part de marché des différentes résines composites sur le marché, en fonction de leur viscosité ; Représentation schématique (31)

Certaines difficultés inhérentes à la composition et au comportement de ces matériaux sont rencontrées en pratique clinique quotidienne.
Tout d'abord, l'hydrophobie apportée par les chaines carbonées alcanes, impose des règles d'utilisation strictes comme la pose d'un champ opératoire étanche, couteuse en temps de travail. Cette hydrophobie, en revanche, rend le matériau non susceptible aux échanges hydriques et réduit donc l'impact du milieu buccal sur ce dernier.

De plus, les résines composites qu'elles soient photopolymérisables ou chémopolymérisables, souffrent d'une rétraction de polymérisation, moins prononcée pour les résines à prise chimique. L'intégrité de l'interface système adhésif/dentine et système adhésif/résine composite, ainsi que l'intégrité de la structure dentaire en elle-même se voient donc impactées par cette contraction volumique de la résine composite imposant des contraintes élevées. Une technique d'apposition par incréments inférieurs à 2 mm est alors conseillée de manière à contrôler au maximum la rétraction du matériau et d'éviter ainsi l'apparition de contrainte aux interfaces sources de stress et de fissures amélaire. L'atténuement de ces contraintes peut aussi être obtenu en plaçant la résine composite hybride en masse, plutôt qu'en différents incréments. En effet, lorsque la résine composite conventionnelle est placée en masse dans la cavité (incrément de 4 mm ou plus), compte tenu de la faible réception de l'influx lumineux dans les parties les plus apicales de l'apport, les contraintes de polymérisation des parties coronaires recevant le maximum d'influx lumineux se transmettent à la zone apicale sous polymérisée, encore sous forme plastique, et capable d'amortir ces contraintes (32). Se pose alors la question de la cytotoxicité des monomères non polymérisés en fond de cavité, surtout en cas de restauration de caries profondes. Cette technique nécessite alors des matériaux libres de tout retrait de polymérisation et capables de recevoir assez d'influx lumineux de polymérisation au-delà des 2 mm d'épaisseur pour se polymériser totalement (33).

Les résines composites devront être appliquées de manière optimale sur ces adhésifs dentinaires, c'est-à-dire par apport successifs de petits incréments inférieurs à 2 mm de manière à réduire le risque d'emprisonnement d'air, et polymérisées complètement. Son utilisation étant praticien dépendante, toute erreur de protocole entrainera une augmentation du risque d'éventuelles sensibilités dues à une mauvaise qualité d'adhésion à la dentine cavitaire (27). La méthode de restauration par incréments profère une meilleure adaptation de la résine hybride à son environnement dentinaire. Cette technique permet de prévenir l'apparition d'espaces de rétraction trop importants dans des restauration occlusales (33). La qualité du joint adhésif sera le facteur clé de la réussite à long terme du traitement restaurateur car il évite la formation de hiatus, surtout sur les marges pulpaires de la restauration, aboutissant à des sensibilités post-opératoires (effet de pompage) ou à la récidive carieuse.

Certaines bactéries peuvent présenter une attraction pour certaines molécules composant les résines composites. Le TEGDMA (TriEthylène Glycol DiMéthAcrylate), contrôleur de viscosité le plus utilisé, est affecté par ce tropisme bactérien. L'utilisation des résines composites doit donc se faire de manière réfléchie, dans un contexte buccal assaini et maintenu régulièrement (22).

Les **résines composites fluides** sont connues pour avoir un module d'élasticité, une teneur en charges ainsi que des propriétés mécaniques inférieurs aux résines composites hybrides traditionnelles. Leur étalement s'en voit donc facilité et leur adaptation aux parois marginales améliorée. Ces propriétés les rendent intéressantes lorsqu'un joint viscoélastique est désiré (30). Bien qu'elles ne soient pas disposées à être utilisées dans des conditions exposées à haut stress, ces résines peuvent être d'un grand recours en tant qu'interface entre le système adhésif et la résine composite hybride de manière à prévenir d'éventuels espaces vacants entre ces derniers. Un matériau possédant un module d'élasticité faible peut amortir les contraintes. Il évite donc à l'adhésif d'être trop sollicité mécaniquement et joue le rôle de tampon (33).

Parmi les résines composites conventionnelles, les composites hybrides présentent les meilleurs résultats en matière de vieillissement. Le vieillissement d'un composite est plurifactoriel, il dépend (30,31):

- De l'usure des aires occlusales sans contact, des aires occlusales avec contact, de l'usure des points proximaux
- De l'usure due à des phénomènes physico-chimiques : température buccale, hydrolyse (agent de couplage), attaques chimiques, etc…
- Rupture entre les charges et l'agent de couplage
- Rupture au sein de la chaine des polymères
- De la localisation et de la dimension de la restauration
- Des modalités de mise en œuvre du matériau

L'usure acceptable d'un composite est de 40 à 50 microns par an selon les normes ADA. En comparaison, l'usure amélaire des molaires est d'environ 50 microns par an et d'environ 30 microns par an au niveau des prémolaires (30,31)..

L'usure du composite sera prédominante au niveau des zones molaires, dans les restaurations de grande étendue, dans les zones soumises aux contacts occlusaux ainsi que dans les première années suivant la mise en place du biomatériau (30,31).

Afin d'éviter les contraintes de rétraction de prise ainsi que l'emploi d'une technique par incréments gourmande en temps de travail, de nouveaux matériaux à contraction réduite (**Composites Bulk**) voient le jour depuis quelques années. Ces matériaux, selon les fabricants, peuvent être utilisés en masse de plus de 4mm d'épaisseur puis polymérisés sans risquer une contraction trop importante (22). Leur cahier des charges leur vente un haut taux de conversion, une profondeur de polymérisation élevée, un retrait et des contraintes de polymérisation faibles.

Une classification topographique de ces nouvelles résines composites a été proposée (34), distinguant dans un premier volet les résines Bulk de base intermédiaire (comme substitut dentinaire), et dans un second les résines Bulk de restauration (occlusales).

Parmi les composites Bulk de base intermédiaire, les composites fluides sont les plus documentés à ce jour. Leurs propriétés sont prometteuses : ils permettraient une adaptation comparable (35) et un moindre décollement marginal (36), une moindre sensibilité à la corrosion et au vieillissement (35), comparés aux résines fluides conventionnelles.

Les résines Bulk fibrées (fibres de verre) se ventent de limiter la propagation des fissures. Ils sont indiqués dans les restaurations importantes soumises à de fortes contraintes mécaniques. Leur incompatibilité au polissage et leur vieillissement accru les oblige à être recouvertes par une résine occlusale mais aussi proximale. Les études controversent l'emploi de ces résines en raison de résultats défavorables à leur usage (35).

Les composites Bulk de restauration souffrent de propriétés mécaniques insuffisantes par rapport aux résines conventionnelles. Point particulier, l'apport en masse de ces résines rend difficile leur sculpture occlusale.

La polymérisation des résines composites améliore la polymérisation des adhésifs dentinaires et réduit alors leur relargage de monomères toxiques (37).

V.2.2. Bioactivité

Comme pour les adhésifs dentinaires, afin d'améliorer les propriétés des résines composites et leur comportement en milieu buccal, des études sur leur composition ont été effectuées. L'idée a donc été d'intégrer à la composition de ces résines définitives certains composés chimiquement actifs, afin d'apporter des vertus nouvelles. Ce changement de composition s'est fait par le biais, tout d'abord, d'éléments chimiques à libération intra-buccale, puis par l'adjonction d'éléments chimiques liés de manière covalente à la structure résineuse.

L'ajout de molécules de Chlorhexidine au sein des résines composites a été présentée comme une des possibilités de rendre les résines composites bioactives. Le but a été d'encapsuler ces molécules au sein de nanoparticules de silice. Lorsque le contact entre la paroi bactérienne et la Chlorhexidine a lieu, cette dernière diffuse jusqu'à la paroi interne de la bactérie entrainant une fuite de son cytoplasme puis l'apoptose (28) (38).

Ce relargage d'agents antimicrobiens ne se fait que pendant un temps court. La nécessité de trouver des agents plus durables, liés de manière covalente à la structure moléculaire des résines est apparue. La solution qui a été trouvée consiste en la copolymérisation de Méthacrylates d'Ammoniums Quaternaires (QAMs) au sein de la matrice résineuse. Les QAMs possèdent comme effet d'attaquer les membranes bactériennes et de causer la fuite de leurs cytoplasmes. La longueur des chaines alkyle de ces ammoniums fait varier leurs effets. Il y va de l'altération des structures ADN, de l'altération des structures métaboliques, à la diminution des productions d'acides bactériens. Plusieurs auteurs ont tenté de l'incorporer au sein d'adhésifs et de de résines composites (28). Des études ont porté sur la durabilité de ces agents intégrés de manière covalente à la matrice résineuse. Aussi loin que le recul de l'étude puisse porter (1 an), l'effet antibactérien ne décroit pas (28).

Malheureusement, les différentes protéines salivaires se déposant à la surface des structures dentaires et à la surface de la résine composite réduisent le contact bactéries/résine bioactive. De ce fait, le développement de « répulsifs protéiniques » a été envisagé. Il permet à la fois de préserver l'efficacité bactéricide de contact des QAMs mais aussi d'empêcher la formation des biofilms bactériens accrochés à l'interface créée par les protéines salivaires sur la résine (28).

Comme pour les adhésifs, l'ajout de NACP dans les résines composites ne détériore pas les propriétés mécaniques de la résine composite (28).

V.3. Ciments Verre Ionomère

V.3.1. Propriétés des Ciments Verre Ionomère

Issus d'une réaction acido-basique entre d'une part le verre d'alumino-fluoro-silicate et d'autre part une solution aqueuse d'acide polyacrylique, le Ciment Verre Ionomère (CVI) possède maintenant quelques décennies de recul clinique.

Les CVI adhèrent de manière spontanée à la dentine, aucun adhésif n'est nécessaire. L'adhésion est de type ionique entre les charges négatives des polyacides contenus dans le matériau et les charges positives de l'hydroxyapatite dentaire (39). Il est possible d'optimiser cette adhésion spontanée par préparation de la surface dentaire consistant en l'application d'une solution d'acide polyacrylique qui sera rincée. Cette déminéralisation acide permettrait l'élimination des excès de boue dentinaire (mais pas des bouchons dentinaires), une affection bénéfique de la dentine intertubulaire, d'augmenter le mouillage du CVI en laissant des molécules d'acide polyacrylique sur la surface dentaire (valable pour l'émail comme la dentine).

Les CVI souffrent d'une faible résistance à la fracture et à l'usure, d'un polissage optimum insuffisant ainsi que d'une sensibilité aux variations hydriques. Même si une rétraction de prise existe, la prise du CVI s'étalant sur plusieurs heures, les contraintes se dissipent au sein du matériau viscoélastique non totalement pris. En y ajoutant la capacité d'adhésion spontanée, les CVI jouissent d'une excellente étanchéité.
L'ajout d'une matrice résineuse (HEMA et BisGMA) afin d'aboutir aux CVI Modifiés par Adjonction de Résine (CVIMAR) n'améliore que peu ces faiblesses. En revanche la capacité d'adhérence à la dent se voit optimisée (doublée plus précisément) et l'adhésion aux résines composites est maintenant possible. Les CVIMAR sont aussi plus tolérants à l'hydrolyse hydrique et aux erreurs de manipulation. La résistance à l'usure reste cependant faible.

De nouveaux CVI dits à Haute viscosité infiltrés et Protégés (CVI HVIP) par un vernis montrent une résistance hydrique encore supérieure, une meilleure résistance à l'usure.

Selon Attal, la toxicité d'un matériau sur l'organe pulpaire est en grande partie dépendante de l'étanchéité qu'il permet d'obtenir sur le pourtour cavitaire. Le conditionnement tissulaire à l'acide polyacrylique n'élimine pas les bouchons dentinaires, les sensibilités post-opératoires sont donc rares, et l'étanchéité procurée par le matériau est excellente. L'ajout de molécules résineuse vient augmenter l'excellence de l'étanchéité (39).

V.3.2. Bioactivité

L'utilisation des CVI présente certains avantages majeurs. En effet, bien que controversés, les CVI seraient promoteurs de la reminéralisation dentinaire, effet intéressant lorsqu'une technique d'éviction partielle est choisie par exemple. En effet, la dentine affectée est déminéralisée, mais ses fibres de collagène demeurent intactes. Le relargage de fluorures combiné à la libération d'ions issus du verre (Eg, calcium et strontium) seraient les promoteurs de cette reminéralisation. De plus, le CVI a un effet antibactérien. Son utilisation par technique sandwich sous une résine composite serait grandement appréciable chez le patient à haut risque carieux (27,40).
La libération de fluorures présente plusieurs avantages majeurs : une moindre tendance à l'adhésion bactérienne sur les surfaces du CVI, des propriétés de reminéralisation, un abaissement de la tension de surface amélaire et donc une moindre adhésion bactérienne. De plus, le CVI est capable de se recharger en fluorures par l'apport de topiques (dentifrices, applications topiques, fluor alimentaire) (40–44).

D'après Paiva *et al*., l'ajout de nanoparticules d'argent dans la composition des CVI augmente son efficacité dans l'arrêt du processus lésionnel carieux et empêche le développement de biofilms bactériens à sa surface (45). Cela ne change pourtant pas ni la capacité d'adhésion de ces matériaux, ni leur teinte (28,45,46). Les nanoparticules d'Argent montrent une activité antimicrobienne notamment contre les *Streptococcus Mutans* (28).

VI. QUELS MATERIAUX POUR QUELLES SITUATIONS ?

Le choix du matériau de restauration est un élément prépondérant à la réussite du traitement. La restauration définitive devra répondre aux critères suivants : pérennité du biomatériau, propriétés biomécaniques permettant de rétablir la fonction, étanchéité marginale (empêcher la percolation bactérienne, empêcher la formation de hiatus aux interfaces).

VI.1. En fonction de l'état pulpaire

VI.1.1. Indications et contre-indications des coiffages pulpaires directs et indirects

Le coiffage pulpaire indirect a pour indication le traitement des lésions carieuses dentinaires et/ou amélodentinaires, sans atteinte pulpaire, dans un contexte symptomatique ou asymptomatique (47).
Ces indications découlent des catégories I et II de la classification de Baume.

Le coiffage pulpaire direct sera indiqué lors de l'exposition de la pulpe dentaire provoquée suite à une préparation mécanique cavitaire profonde, situation nous intéressant dans le cadre de cette thèse, ou un traumatisme.
La possibilité de reconstituer la dent de manière étanche à la suite de ces thérapeutiques, la possibilité de poser un champ opératoire étanche dans le cadre du coiffage pulpaire direct, la possibilité d'obtention d'une hémostase durable, l'absence de pulpite irréversible voire de nécrose pulpaire sont des prérequis au coiffage pulpaire direct.
En tant que « manipulation pulpaire », le coiffage pulpaire direct est considéré comme un acte invasif. Les patients de la population générale font de parfaits candidats. Dans la catégorie des patients à risque se distinguent les patients immunodéprimés et les patients à risque d'endocardite infectieuse.
Pour les patients immunodéprimés, le praticien devra gérer au cas par cas les différents paramètres médicaux à sa disposition afin de prévenir au mieux un éventuel risque d'élévation de la bactériémie à l'aide d'une antibioprophylaxie préventive et assurer le soin en toute sécurité (48,49).
Concernant les patients à risque d'endocardite infectieuse, les dents monoradiculées pouvant être traitées endodontiquement lorsque leur tissu pulpaire est vivant, le coiffage pulpaire direct ne présente que peu d'intérêts pour leur conservation sur arcade. En revanche, concernant les dents pluriradiculées, ces dernières ne peuvent, selon les recommandations, recevoir de traitement endodontique. Il serait alors judicieux de proposer une solution afin de permettre de tenter le coiffage pulpaire direct, dans la limite de ses indications pulpaires. Cela permettrait, s'il est proposé à temps, d'éventuellement sauver la pulpe des dents pluriradiculées et ainsi augmenter leur temps de conservation sur l'arcade. Ce ne sont ici que des hypothèses, mais si cette possibilité thérapeutique devenait possible, le nombre de dents pluriradiculées sauvées ne serait pas négligeable (48,49).

VI.1.2. Coiffage Pulpaire Indirect

VI.1.2.1. *Choix de l'adhésif dentinaire*

Au cours de la manœuvre d'excavation carieuse, si l'effraction pulpaire n'est pas réalisée, l'utilisation d'un adhésif traditionnel (ou bioactif) sera envisagée. L'utilisation de procédures M&R, malgré son caractère fortement opérateur dépendant, présente une qualité d'adhésion supérieure aux SAM sur l'émail sain (26).

L'instrumentation dentinaire crée une couche de débris dentinaires, recouvrant l'intégralité de la surface dentinaire préparée et s'insinuant à l'intérieur des tubuli. Son épaisseur, sa densité et son affinité pour la dentine sous-jacente dépendent de la manière dont la dentine a été instrumentée. Selon sa nature, cette boue dentinaire pourra interférer avec le protocole d'adhésion. Elle se compose d'hydroxyapatite et de fibres de collagène dénaturées.

En cas de présence de dentine affectée, la couche de boue dentinaire à sa surface rend imperméable cette dernière à l'infiltration des monomères adhésifs dont l'application se voit inhomogène. Le mordançage à l'acide orthophosphorique à 37% de la dentine affectée tend à être trop agressif et profond. En effet, la forte déminéralisation périfibrillaire entrainée par ce dernier prive les fibres de collagène de reminéralisation et de renforcement futur par les hydroxyapatites et altère leur conformation. De plus, l'exposition définitive des fibres de collagène dans la partie la plus profonde de la couche hybride les rend vulnérables à l'hydrolyse des MMP (50).

Dans le cas des SAM, l'épaisseur de la couche de boue dentinaire peut affecter la correcte déminéralisation et donc le renforcement collagénique. Une neutralisation des primaires automordançants a lieu, surtout lors de l'utilisation de primaires à pH doux. Néanmoins, comparés aux primaires à pH faible, les SAM à pH doux présentent de meilleurs résultats en présence de dentine affectée. En effet, la faiblesse des acides permet de conserver les cristaux d'hydroxyapatite péri-collagéniques, prévenant l'exposition de ces fibres et leur susceptibilité à l'hydrolyse. Au plus les cristaux apatitiques sont dissouts, au plus ils seront remplacés à volume égal par le fluide dentinaire. L'humidité dentinaire (10% pour la dentine saine contre 14 à 53% pour la dentine affectée) rend l'infiltration des monomères hydrophobes bien plus difficile au sein de la dentine affectée, menant à de nombreuses porosités de la couche hybride (50).

VI.1.2.2. *Choix de la résine composite*

Concernant le choix de la résine composite, il est judicieux de penser que la faible rigidité des résines composites fluides pourrait résister et compenser le retrait de polymérisation des résines composites possédant un module d'élasticité plus élevé. Mais, du fait de leur faible teneur en charges, les résines fluides se rétractent encore plus, effet pouvant générer des zones de tension sur le système adhésif durant leur polymérisation. Cependant, les résines composites hybrides traditionnelles présentent des espaces de vide à leurs marges ainsi que des microfuites supérieures aux résines fluides (33).
Les résines fluides ont comme propriété une bonne adaptation aux murs cavitaires. De cette bonne adaptation pourrait découler une amélioration de la force d'adhésion.
En revanche l'étude de Miguez *et al.* montre que l'utilisation d'une résine composite fluide en sous-couche ne garantis pas l'absence d'espaces de rétraction et n'améliore pas la force d'adhésion des masses résineuses à la dentine lorsque la technique d'apport en masse (bulk) est utilisée (33).
Une attention toute particulière devra tout de même être apportée sur la quantité de résine fluide utilisée afin de bénéficier des avantages vus précédemment et diminuer leurs contraintes apportées par leurs faibles propriétés mécaniques.

Concernant les résines de viscosité normale, ni la méthode de restauration, ni le type de composite utilisé ne semble affecter la formation d'espaces vides aux interfaces marginales pulpaires de la cavité. La quantité d'espaces vides aux interfaces marginales pulpaires reste supérieure à celle observée aux interfaces axiales et coronaires, indépendamment du choix de la technique ou du type de composite (32). Les cliniciens peuvent utiliser les composites Bulk afin de réduire les effets indésirables dus au retrait de polymérisation mais aussi pour simplifier la méthode de remplissage (51).

Les composites Bulk permettraient une moindre flexion cuspidienne, un retrait de polymérisation réduit ainsi qu'une résistance à la fracture similaire de la dent restaurée (51). Le recul clinique étant encore faible, ces propriétés restent à nuancer (35).
L'utilisation de composites Bulk de viscosité fluide (SDR®) ou de résines composites Bulk activées par ultrasons (SonicFill®) permet une meilleure adhésion et une meilleure étanchéité marginale que l'utilisation de composites Bulk dont l'apport est effectué de manière classique (spatule) (52).

Les composites Bulk fluides présentent de meilleurs résultats en termes de retrait de polymérisation et de décollement marginal que les résines composites fluides conventionnelles. En revanche, les composites Bulk plus visqueux ne semblent pas présenter d'avantages comparés aux composites conventionnels de même viscosité (53).

Pour l'heure, les études semblent montrer que l'utilisation d'une résine composite Bulk doit se limiter en l'application d'un liner fluide, recouverte d'une résine composite conventionnelle (35,36).

VI.1.2.3. *Intérêts du CVI*

Comme démontré dans les nombreuses études traitant de ce sujet, l'utilisation d'un CVI comme fond de cavité ne réduit pas le risque de sensibilités postopératoires et de complications pulpaires à court terme. Les résultats d'études à moyen et long terme seraient appréciables pour corroborer ces premières observations (27). L'utilisation de CVI avec un module d'élasticité faible comme fond de cavité pourrait permettre la dissipation des contraintes de polymérisation de la résine composite sus-jacente (54).
De par leur composition, les CVI sont moins sensibles à l'humidité du fluide dentinaire que les résines composites, rendant leur qualité d'adhésion à la dentine profonde plus constante d'une utilisation à l'autre.
L'utilisation des CVI serait à réserver aux situations où l'adhésion des adhésifs dentinaires ne pourrait être optimale, de manière à obtenir un résultat plus prédictible (15,27).

VI.1.2.4. *Biodentine™*

La Biodentine™ peut être utilisée comme substitut amélodentinaire temporaire pendant maximum 6 mois. Au-delà de cette période, le point de contact des cavité proximales se détériore. Son recouvrement par un biomatériau présentant de meilleures propriétés biomécaniques semble nécessaire. En revanche la Biodentine™, utilisée en coiffage pulpaire indirect permet la diminution des sensibilités post-opératoires. Cet effet peut être expliqué de deux manières. Tout d'abord par le comblement des tubuli dentinaires lors de sa mise en place, mais aussi par son effet de diminution des cytokines pro-inflammatoires et de diminution des récepteurs à la douleur à la surface des *odontoblastes* (23).

VI.1.3. Coiffage Pulpaire Direct

La Biodentine™ reste le matériau de choix à ce jour pour le coiffage pulpaire direct dans la limite des indications de ce dernier. En revanche, elle demeure inefficace en cas de pulpite irréversible (23).

Protocole Biodentine™ :

- Prendre une capsule et la taper légèrement sur une surface dure pour détasser la poudre.
- Ouvrir la capsule et la placer sur le support blanc.
- Détacher une monodose de liquide et tapoter légèrement au niveau du bouchon scellé afin de faire descendre la totalité du liquide au fond de la monodose.
- L'ouvrir en tournant le bouchon scellé en prenant garde de ne pas laisser échapper une goutte.
- Verser 5 gouttes de la monodose dans la capsule.
- Refermer la capsule. Placer la capsule sur le vibreur ayant une vitesse de l'ordre de 4000 à 4200 oscillations/minute.
- Mélanger durant 30 secondes

- Ouvrir la capsule et vérifier la consistance du matériau. Si une consistance plus épaisse est souhaitée, attendre 30 secondes à une minute avant de tester à nouveau, sans dépasser le temps de travail.
- Récupérer le matériau Biodentine™ à l'aide de la spatule livrée dans le coffret. En fonction de l'utilisation souhaitée, il est possible de manipuler Biodentine™ à l'aide d'un porte amalgame, d'une spatule…

Certains praticiens, afin de rendre la Biodentine™ plus fluide et plus facile à manipuler, utilisent le pouvoir des ultrasons, sans eau, afin de désorganiser les forces de Van der Waals s'établissant entre les molécules du matériau n'ayant pas effectué sa prise.

Des auteurs ont conclu que la Biodentine™ était un matériau sur lequel pouvait être appliqué un système adhésif, celle-ci pouvant réagir de la même manière que la dentine naturelle, indépendamment du système adhésif (23). Pour d'autres, le mordançage de la Biodentine™ a conclu une destruction de la micro-structure du matériau, entrainant une inétanchéité de l'interface Biodentine™-composite (19). Il est depuis un certain temps suggéré de réaliser la restauration définitive 6 semaines après traitement par Biodentine™, indépendamment du choix du système adhésif.

Les études ont montré que les systèmes adhésifs de type M&R présentaient une force d'adhésion supérieure lorsqu'utilisés sur la Biodentine™ (19).
Même s'il existe une capacité d'adhésion, la Biodentine™ présente une force d'adhésion faible à son interface avec le composite indépendamment du système adhésif (19). Les études discordent sur le sujet des systèmes SAM, montrant dans certains cas une force d'adhésion supérieure avec la Biodentine™, dans d'autre une force inférieure (19).
L'ajout d'un silane entre la Biodentine ™ et le système adhésif ne semble améliorer ni l'adhésion, ni l'étanchéité (55).

Toute restauration définitive au CVI est déconseillée lorsqu'un matériau de coiffage direct est utilisé. Le recouvrement de la Biodentine™ par un CVI a démontré une inétanchéité globale et une très faible force d'adhésion. Il n'est donc pas considéré comme matériau de choix (19).

Une fois la Biodentine™ mordancée et recouverte par le composite, certains de ses éléments structuraux subissent une migration. Il s'agit d'aluminium, de barium, d'ytterbium et de fluorine. L'auteur affirme ne pas connaitre le rôle de ces éléments dans la composition du matériau (19). En revanche, concernant la migration calcique, celle-ci est minime de la Biodentine™ vers le composite, et augmente la force d'adhésion en migrant vers la dentine (19). On rappellera que la migration calcique issue des silicates tricalciques est la base de l'effet bioactif recherché. Cette zone de migration calcique au sein de la dentine adjacente est appelée zone d'infiltration minérale.

Même si la durée de prise et d'action du matériau de coiffage pulpaire direct sont respectées, il reste difficile de pouvoir coller sur des matériaux de substitution dentinaire à base d'eau. Il est donc nécessaire d'approfondir les recherches quant aux restaurations définitives sur de tels matériaux. Son utilisation actuelle en combinaison avec les matériaux de restauration définitifs fait appel à une notion de compromis afin de profiter au mieux des propriétés de chacun (19).

VI.2. En fonction de la nature des tissus du fond cavitaire, de l'activité de la lésion

D'après Bjorndal, la carie peut être qualifiée de profonde si elle pénètre radiographiquement le quart interne dentinaire (56). La zone atteinte est en général jusqu'à 30% plus volumineuse que celle observée aux rayons X.

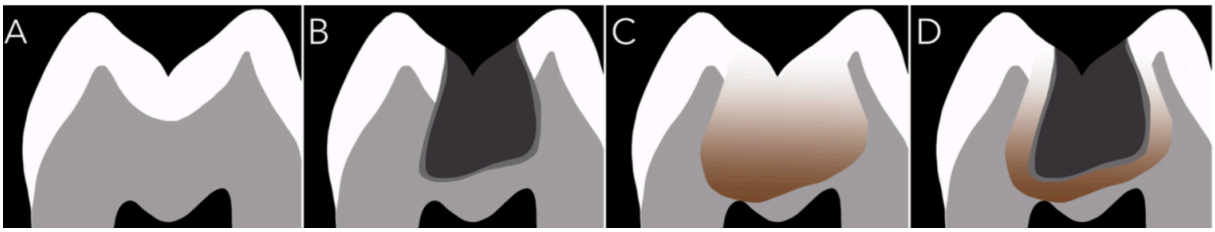


Figure 19 : Schématisation de la corrélation clinique et radiographique dans le cadre de lésions carieuses profondes (A : Aspect radiographique d'une dent saine ; B : Aspect radiographique d'une lésion carieuse profonde ; C : Aspect clinique d'une lésion carieuse profonde ; D : Corrélation entre les deux profondeurs clinique et radiographique), Courtoisie du Dr Devictor A.

En cas de lésion carieuse profonde active, la méthode d'éviction a un grand rôle à jouer dans le succès de la thérapeutique. En effet, la littérature rapporte que l'éviction complète du tissus carieux tend à augmenter le nombre d'effractions pulpaires, diminuant ainsi le pronostic pulpaire (14,56). L'éviction carieuse partielle propose d'éliminer la dentine infectée afin d'obtenir des marges coronaires amélodentinaires saines et propices au collage de qualité et de laisser la dentine affectée en fond de cavité afin de diminuer le risque d'effraction pulpaire. Certains praticiens iront même jusqu'à garder une partie de dentine infectée si les bords cavitaires permettent d'obtenir un collage étanche.

Afin de préserver la vitalité pulpaire, l'éviction devra être contrôlée grâce à une instrumentation adéquate. Du fait de la difficulté de différencier la dentine infectée de la dentine affectée, et afin d'optimiser la thérapeutique, la désinfection du tissu dentinaire devra être obtenue. Cette désinfection pourra être **immédiate** par emploi de Chlorhexidine (action sur *Streptococcus Mutans*) (14,28), par utilisation de la thérapie photodynamique (57), par utilisation du laser (18), mais aussi **médiate** par l'emploi d'adhésifs dentinaires bioactifs ainsi que de résines composites bioactives, voire de CVI. La qualité des marges périphériques de la restauration permettra l'emprisonnement des bactéries rémanentes cariogènes menant à l'élimination de la plupart d'entre elles.

Certains facteurs environnementaux et morphologiques de la dentine affectée ont pour effet la dégradation de la couche hybride.
Cette destruction de nature hydrolytique a pour cause l'autodestruction des fibres de collagène présentes dans la matrice dentinaire déminéralisée par activation des **Métalloprotéinases Matricielles** (MMP) et des cathepsines sécrétées par les *odontoblastes*. Afin de devenir actives, les MMP nécessitent un environnement acide. Cette acidité peut à la fois être retrouvée dans les déchets issus du métabolisme des bactéries cariogènes par le biais de l'acide lactique mais aussi par l'utilisation de primaires auto-mordançant lors de nos procédures de collage (50). Des inhibiteurs de ces protéinases sont alors requis afin d'éviter l'hydrolyse progressive de la couche hybride. Leur utilisation en amont de nos procédures de

collage permettra d'enrayer le processus de destruction collagénique, trame organique nécessaire à la reminéralisation de la dentine affectée. La faible saturation résineuse au sein de la dentine affectée est la cause d'une chute progressive de la force d'adhésion et source de réactivation des MMP. La couche hybride se voit alors disparaitre progressivement par destruction de la matrice collagénique enchâssée dans la masse résineuse. L'utilisation d'inhibiteurs de MMP est alors primordiale.
La Chlorhexidine a été désignée comme inhibiteur des MMP préférentiel, même à de faibles concentrations (50).

Protocole de l'Éviction Carieuse Partielle

- Excavation carieuse complète sur les deux premiers millimètres dentinaires afin d'obtenir une dentine dure et d'apparence saine, propice à un collage optimal (E)

- Pose du champ opératoire, excavation carieuse centripète et sélective, en diminuant la pression exercée sur l'instrumentation à mesure que l'on se rapproche de la pulpe (F) et application de Chlorhexidine

- Mordançage sélectif de l'émail uniquement (15 secondes) à l'acide orthophosphorique à 37% (G)

- Application amélodentinaire et photopolymérisation d'un adhésif auto-mordançant ou universel en respectant les précautions d'emploi du fabricant (H)

- Réalisation de la restauration définitive (I, J, K, L)

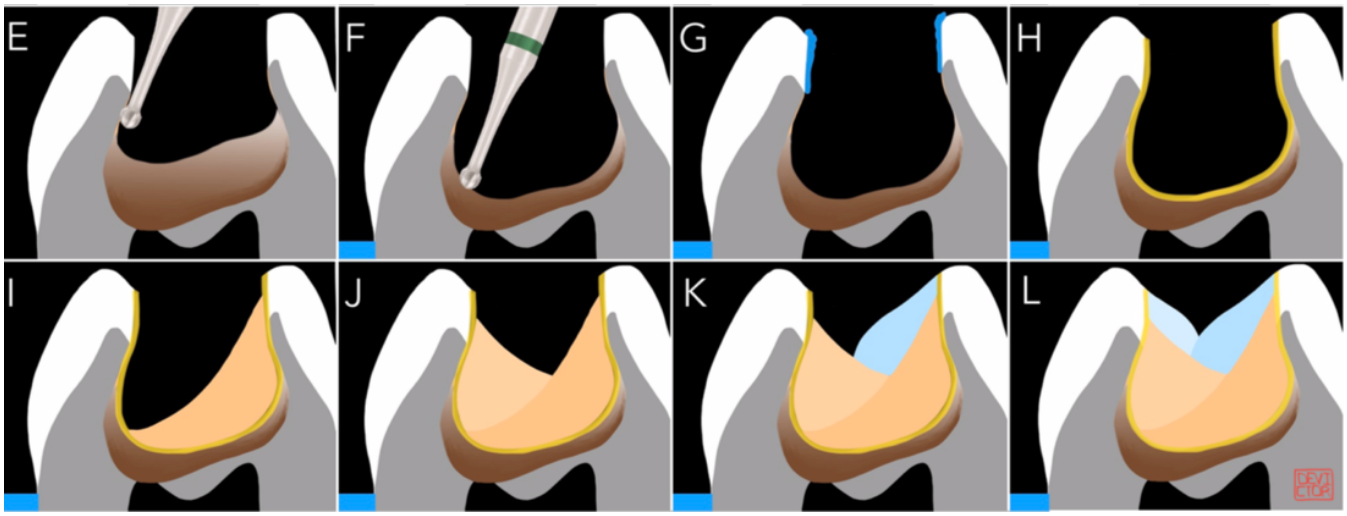


Figure 20 : Représentation schématique de la méthode d'éviction carieuse partielle en cas de lésion carieuse profonde, Courtoisie du Dr Devictor A.

Le collage sur la dentine affectée présente une efficacité et une durabilité moindre que sur la dentine saine (50). La dégradation minérale, l'augmentation de l'humidité dentinaire, l'occlusion canaliculaire par la boue dentinaire et l'activation des MMP diminuent la force d'adhésion et la longévité de l'interface résineuse au contact de la dentine affectée (50).

Du fait de l'augmentation du nombre de canalicules, de l'augmentation de leur diamètre et du relargage de fluide dentinaire, la dentine profonde voit sa compatibilité à l'adhésion diminuée de 30 à 40% par rapport à la dentine superficielle.

La dentine affectée déminéralisée et résiliente laissée sous la restauration définitive favorise la dissipation des contraintes (54). En revanche, le fait de laisser de la dentine affectée sous la restauration composite définitive n'a pas d'effet significatif sur l'éventuel développement de fissures amélaires, sur la flexion cuspidienne ainsi que sur la résistance à la fracture de la restauration dans les lésions de classe II de Black (54).

In vitro, l'excavation carieuse partielle dans le cadre de lésions profondes de classe I de Black a réduit la résistance à la fracture des restaurations composites (54).

L'excavation partielle n'entraine pas de variation des propriétés biomécaniques des composites Bulk dans la restauration de lésions carieuses de classe II de Black (54).

La dentine sclérotique, résultant du processus naturel de défense pulpaire et se formant au plafond de la cavité pulpaire en réponse à une agression, réduit la perméabilité et donc les sensibilités. Au fur et à mesure du processus de sénescence pulpaire, on observe une augmentation du rapport minéral/collagène ainsi qu'une augmentation de la dureté dentinaire.

Chez le sujet âgé, d'importantes quantités de dentine secondaire complétées par de la dentine tertiaire sclérotique sont le plus souvent observées en cas de caries profondes. Il en résulte alors une migration centripète des cornes pulpaires. En cas de lésion carieuse profonde, l'épaisseur de dentine résiduelle, même après excavation carieuse, reste amplement suffisante pour assurer la protection pulpaire et la réduction des sensibilités. Les risques de complications pulpaires post-opératoires chez le sujet âgé seront alors théoriquement inférieurs à ceux chez les patients jeunes (27).

En denture temporaire, les restaurations avec les résines composites (réalisées sous digue) montrent au bout de deux ans de suivi une diminution des expositions pulpaires mais un plus grand taux d'échecs des restaurations en utilisant l'excavation partielle, alors que l'excavation totale montre plus d'expositions pulpaires mais des restaurations plus durables (58).

VI.3. En fonction de l'étendue de la lésion carieuse

VI.3.1. Restaurations par méthode directe

VI.3.1.1. *Effet de la forme de la cavité à restaurer*

Le facteur de configuration ou ***Facteur C*** est un paramètre à prendre en compte car il a tendance à modifier l'intensité et la direction des contraintes générées lors de la contrainte de polymérisation des matériaux restaurateurs résineux.

Il se calcule en faisant le rapport du nombre de surfaces collées par rapport au nombre de surfaces libres dans une cavité.

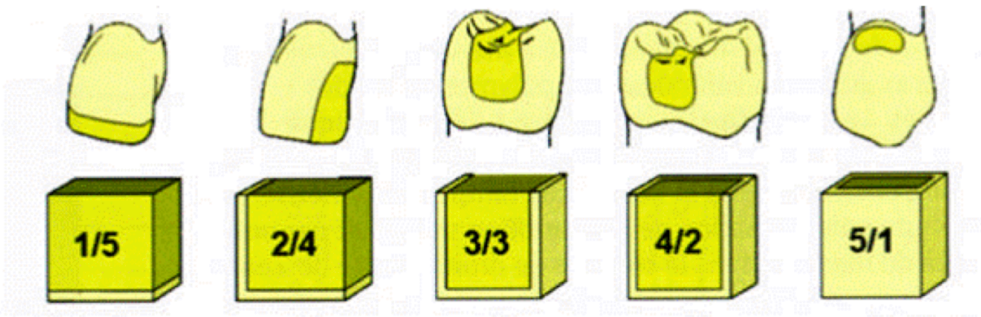


Figure 21 : Facteur de configuration cavitaire ou Facteur C (59)

Au plus ce facteur sera élevé, au plus le risque de rupture adhésive ou de détérioration de la surface dentaire (cracks) sera élevé.
Le défi pour le praticien sera de maintenir ce facteur C le plus bas possible par différentes techniques (méthodes incrémentielle, composites Bulk, restaurations indirectes, etc…).

VI.3.1.2. *Effet du type de cavité*

Des études portant sur l'utilité des résines fluides en cas de restaurations de Classe II de Black ont démontré une utilité accrue, tant sur le plan de l'amélioration de l'adaptation de la restauration que de la diminution des micro-fuites (60) (61).

Après utilisation d'un composite Bulk pour restaurer une classe I de Black, l'étanchéité des marges cavitaires axiales et coronaires est similaire à celle obtenue en utilisant une résines composite conventionnelle (32).

La profondeur cavitaire représente un élément clé dans l'apparition des sensibilités postopératoires. En règle générale, au plus la cavité sera profonde, au plus le risque de

sensibilités post-opératoires se verra augmenté. De plus, la complexité de la cavité ainsi que son étendue vont influencer négativement ces sensibilités. En effet, les restaurations de cavités occlusales sont moins soumises aux sensibilités que les restaurations de cavités plus complexes comme les occluso-proximales (27)

Le choix d'une restauration par technique directe devra être effectué pour l'obturation de pertes de substance de petite et moyenne étendue uniquement (62).

VI.3.2. Restaurations par méthode indirecte

Malgré les avancées technologiques des composites destinés aux restaurations par méthode directe, les problèmes liés au retrait de polymérisation et au facteur C restent un défi majeur pour le praticien. Pour pallier ces inconvénients, l'option des techniques restauratrices indirectes peut être d'un grand recours afin de restaurer définitivement les cavités larges et profondes (62).

Dans le cadre de l'étude des lésions carieuses profondes, les indications des restaurations par méthode indirecte sont :

- Les cavités dont la largeur est supérieure au tiers de la largeur vestibulo-linguale et où il y a une perte d'une cuspide (Classe I et II de Black ; Site 1 et 2, Stades 3 et 4 de la classification Si/Sta) (62).
- Les cavités dont le matriçage optimal est rendu impossible par l'étendue et la configuration cavitaire (62).
- Les cavités nécessitant une masse résineuse trop importante (62).

Dans les plages de dentine exposées, l'application du principe de « continuum odontoprothétique » exposé par Lasserre *et al.*, est nécessaire afin de protéger le complexe pulpo-dentinaire et préserver la vitalité pulpaire. Il en va de la réalisation d'une hybridation dentinaire dans la même séance que la préparation pour la pièce collée, avant toute réalisation d'empreinte (63). C'est le **Scellement Dentinaire Immédiat**. Cette hybridation a pour but :

- La prévention des percolations bactériennes,
- La prévention de la contamination bactérienne en inter-séance,
- La prévention de potentielles sensibilités opératoires.
- L'obtention d'une bonne qualité d'adhésion

VII. CONCLUSION

Les concepts de la dentisterie actuelle font de la préservation de la vitalité pulpaire une priorité absolue dans les limites de ses possibilités.
Le champ opératoire reste, à ce jour, une prérogative incontournable afin d'assurer l'asepsie relative des surfaces dentaires en isolant du sang et de la salive la dent à traiter, la protection des tissus environnant vis-à-vis des manœuvres de soin, une bonne ergonomie de travail, une qualité de collage optimale et de répondre à une obligation s'imposant à tout praticien à savoir l'obligation de moyens.

Que ce soit dans le choix du biomatériau lors d'une thérapeutique pulpaire ou dans le choix du ou des biomatériaux de restauration définitifs, la pérennité, l'étanchéité, la biocompatibilité voire la bioactivité des biomatériaux utilisés sont autant de paramètres de choix qui devront orienter le praticien, en plus des paramètres intrinsèques à l'hôte et à la configuration carieuse, vers la bonne décision thérapeutique.

La gestion des substrats en présence devra se faire de manière réfléchie et minutieuse. En effet, leur type, consistance, et susceptibilité à corroborer au succès de la thérapeutique est en grande partie fonction de l'âge de l'hôte (sénescence dentinaire, oblitération, dentinaire), ainsi qu'à leurs degrés d'atteinte (sévérité et activité lésionnelle, dentine infectée, dentine affectée, destruction collagénique, dentine tertiaire, symptomatologie pulpaire, etc…). Comme exposé dans cette thèse, le choix de la méthode d'éviction semble de plus en plus se porter vers l'éviction partielle. En revanche, les résultats quant à la résistance de l'organe dentaire après restauration définitive et quant à la résistance de la restauration elle-même lors d'une éviction partielle, démontrent des avantages certains mais aussi certaines faiblesses et divergences d'opinions.

Au-delà des manœuvres mécaniques d'éviction carieuse, la part d'activité biochimique des restaurations a considérablement augmenté au cours des années. Malgré un certain nombre de facteurs praticiens-dépendants (qualité de préparation de la cavité, mise en place du biomatériau, respect des protocoles, etc…), l'avènement de biomatériaux biocompatibles et bioactifs tend à rendre nos restauration actrices de leur propre pérennité et de celle de l'organe dentaire qu'elles restaurent au cours du temps.

Le concept de biomimétisme commence à voir le jour depuis plusieurs années grâce à l'apport considérable des techniques et biomatériaux de restauration directs et indirects et par un allié de tous les jours : le collage.

TABLE DES LEGENDES

FIGURE 1: SCHEMA DE KEYES MODIFIE (2) 2

FIGURE 2: ÉVALUATION CLINIQUE DE L'ACTIVITE D'UNE LESION (A : PROGRESSION ACTIVE ; B : PROGRESSION LENTE ; C : ARRETEE) (3) 3

FIGURE 3 : CLASSIFICATION DE BLACK (4) 4

FIGURE 4: ICEBERG DE PITTS, 1997 (5) 5

FIGURE 5 : REPRESENTATION PICTURALE DE L'ATTEINTE LESIONNELLE AMELODENTINAIRE CORRESPONDANT A CHAQUE SCORE DE LA CLASSIFICATION ICDAS™ (6) 7

FIGURE 6: ILLUSTRATION DES DIFFERENTS SITES ET STADES D'ATTEINTE LESIONNELS DECRITS PAR LA CLASSIFICATION SI/STA (8) 9

FIGURE 7 : UTILISATION DE LA FLUORESCENCE SUR UNE CARIE OCCLUSO-PROXIMO-PALATINE D'UNE 24 12

FIGURE 8 : MICROPHOTOGRAPHIES EN MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE DE LA STRUCTURE AMELAIRE ; (A) LA COUCHE PRISMATIQUE DE L'EMAIL FORME LA MAJORITE DE L'EPAISSEUR AMELAIRE ; (B) L'EMAIL DE SURFACE EST DEPOURVU DE BATONNETS ; (C) COUCHE AMELAIRE BORDANT LA JONCTION AMELODENTINAIRE (12) 14

FIGURE 9 : EMAIL PRISMATIQUE, MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A TRANSMISSION (13) 15

FIGURE 10 : ZONE INTERMEDIAIRE OU METADENTINE IMPREGNEE PAR DU NITRATE DE LANTHANE ; D : DENTINE ; MD : METADENTINE ; PD : PREDENTINE (GROSSISSEMENT X27000) (12) 17

FIGURE 11 : DESCRIPTION SCHEMATIQUE DE LA STRUCTURE CANALICULAIRE DE LA DENTINE (10) 18

FIGURE 12 : RESEAU TUBULAIRE A 1MM DE LA PULPE, MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE, DP : DENTINE PERICANALICULAIRE ; DI : DENTINE INTERCANALICULAIRE (12) 18

FIGURE 13 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA DENSITE CANALICULAIRE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DENTINAIRE, (D : DENTINE ; P : PULPE) (11) 19

FIGURE 14 : COUPE HISTOLOGIQUE FRONTALE D'UNE MOLAIRE DE SOURIS APRES OBTURATION CORONAIRE (5 SEMAINES POSTOPERATOIRES) (10) 19

FIGURE 15 : PONT DENTINAIRE OBTENU 5 SEMAINES APRES COIFFAGE PULPAIRE AVEC DU MTA® SUR UNE PREMIERE MOLAIRE MAXILLAIRE DE SOURIS (COUPE SEMI-FINE, GROSSISSEMENT X50, BLEU DE METHYLENE/BLEU AZUR II. BARRE = 200 MICRONS) (10) 20

FIGURE 16 : STRUCTURE GENERALE DE LA REGION PULPAIRE DENTINOGENETIQUE (GROSSISSEMENT X100) (12) 22

FIGURE 17: CLASSIFICATION DES RESINES COMPOSITES BASEE SUR LA TAILLE DES CHARGES (31) 33

FIGURE 18: PART DE MARCHE DES DIFFERENTES RESINES COMPOSITES SUR LE MARCHE, EN FONCTION DE LEUR VISCOSITE ; REPRESENTATION SCHEMATIQUE (31) 34

FIGURE 19 : SCHEMATISATION DE LA CORRELATION CLINIQUE ET RADIOGRAPHIQUE DANS LE CADRE DE LESIONS CARIEUSES PROFONDES (A : ASPECT RADIOGRAPHIQUE D'UNE DENT SAINE ; B : ASPECT RADIOGRAPHIQUE D'UNE LESION CARIEUSE PROFONDE ; C : ASPECT CLINIQUE D'UNE LESION CARIEUSE PROFONDE ; D : CORRELATION ENTRE LES DEUX PROFONDEURS CLINIQUE ET RADIOGRAPHIQUE), COURTOISIE DU DR DEVICTOR A. 45

FIGURE 20 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA METHODE D'EVICTION CARIEUSE PARTIELLE EN CAS DE LESION CARIEUSE PROFONDE, COURTOISIE DU DR DEVICTOR A. 46

FIGURE 21 : FACTEUR DE CONFIGURATION CAVITAIRE OU FACTEUR C (59) 48

BIBLIOGRAPHIE

1. Lasfargues J-J, Colon P, Vanherle G. Odontologie conservatrice et restauratrice. Paris: Éditions CdP; 2009. (Collection JPIO).

2. Lupi-Pégurier L, Bourgeois D, Muller-Bolla M. Épidémiologie de la carie. :14.

3. Pitts NB. Are We Ready to Move from Operative to Non-Operative/Preventive Treatment of Dental Caries in Clinical Practice? Caries Res. 2004;38(3):294-304.

4. G.V. Black's Classification of Tooth Preparations / Cavity Preparations.

5. Konate A. Les différents moyens diagnostiques de détection des lésions carieuses. Université de Nantes; 2014.

6. Classification ICDAS [Internet]. Disponible sur: www.icdas.org

7. Authors of the International Caries Classification and Management System (ICCMS), Ismail AI, Pitts NB, Tellez M. The International Caries Classification and Management System (ICCMS^{TM}) An Example of a Caries Management Pathway. BMC Oral Health. déc 2015;15(S1).

8. Zunzarren R, Dupuis V. Guide clinique d'odontologie. 2e édition. Issy-les-Moulineaux: Elsevier-Masson; 2014. (Pratique dentaire).

9. Selwitz RH, Ismail AI, Pitts NB. Dental caries. The Lancet. 6 janv 2007;369(9555):51-9.

10. Simon S, Machtou P, Friedman S. Endodontie. LEGO I, éditeur. [Rueil-Malmaison]: Editions CdP; 2012. (Collection JPIO).

11. Torabinejad M, Walton RE, Levy G. Endodontie. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson; 2016. (Techniques dentaires).

12. Piette E, Goldberg M. La dent normale et pathologique. Bruxelles: De Boeck université; 2001.

13. Alliot-Licht B. Morphogenèse cranio-faciale et Odontogenèse; Chapitre 3: Amélogenèse.

14. Liotard A. Approche thérapeutique de la carie profonde des dents postérieures en denture permanente. Aix Marseille Université, Faculté d'Odontologie de Marseille; 2017.

15. Corralo DJ, Maltz M. Clinical and Ultrastructural Effects of Different Liners/Restorative Materials on Deep Carious Dentin: A Randomized Clinical Trial. Caries Res. 2013;47(3):243-50.

16. Camps J. Notions de biocompatibilité. :13.

17. Guaadaoui A, Benaicha S, Elmajdoub N, Bellaoui M, Hamal A. What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. International Journal of Nutrition and Food Sciences. Mai 2014;

18. Komabayashi T, Ebihara A, Aoki A. The use of lasers for direct pulp capping. J Oral Sci. 2015;57(4):277-86.

19. Meraji N, Camilleri J. Bonding over Dentin Replacement Materials. J Endod. août 2017;43(8):1343-9.

20. Najeeb S, Khurshid Z, Zafar MS, Zohaib S, Siddiqui F. Efficacy of Enamel Matrix Derivative in Vital Pulp Therapy: A Review of Literature. Iran Endod J. Summer 2017;12(3):269-75.

21. Jeanneau C, Laurent P, Rombouts C, Giraud T, About I. Light-cured Tricalcium Silicate Toxicity to the Dental Pulp. J Endod. 9 oct 2017;

22. Serfaty R, Minoux M. Quel substitut dentinaire choisir sous nos restaurations directes et indirectes ? :2.

23. About I. Biodentine: from biochemical and bioactive properties to clinical applications. G Ital Endodonzia. nov 2016;30(2):81-8.

24. Chen J, Cui C, Qiao X, Yang B, Yu M, Guo W, et al. Treated dentin matrix paste as a novel pulp capping agent for dentin regeneration: Treated dentin matrix paste for dentin regeneration. J Tissue Eng Regen Med.

25. Arandi NZ. Calcium hydroxide liners: a literature review. Clin Cosmet Investig Dent. 13 juill 2017;9:67-72.

26. Degrange M, Pourreyron L. Les systèmes adhésifs amélo-dentinaires. 2010 2009;29.

27. Banomyong D, Messer H. Two-year clinical study on postoperative pulpal complications arising from the absence of a glass-ionomer lining in deep occlusal resin-composite restorations. J Investig Clin Dent. nov 2013;4(4):265-70.

28. Cheng L, Zhang K, Zhang N, Melo M a. S, Weir MD, Zhou XD, et al. Developing a New Generation of Antimicrobial and Bioactive Dental Resins. J Dent Res. 15 juill 2017;96(8):855-63.

29. Han Q, Li B, Zhou X, Ge Y, Wang S, Li M, et al. Anti-Caries Effects of Dental Adhesives Containing Quaternary Ammonium Methacrylates with Different Chain Lengths. Materials. 12 juin 2017;10(6):643.

30. Vreven J., Raskin A., Sabbagh J., Vermeersch G., Leloup G. Résines composites. EMC (Elsevier SAS, Paris), Odontologie, 23-065-E-10, 2005.

31. Raskin A. Les résines composites. :37.

32. Furness A, Tadros MY, Looney SW, Rueggeberg FA. Effect of bulk/incremental fill on internal gap formation of bulk-fill composites. J Dent. avr 2014;42(4):439-49.

33. Miguez PA, Pereira PNR, Foxton RM, Walter R, Nunes MF, Swift EJ. Effects of flowable resin on bond strength and gap formation in class I restorations. Dent Mater. nov 2004;20(9):839-45.

34. Blavignac A. Les composites bulk: revue de littérature. Université Paris-Descartes; 2014.

35. François P, Dursun E, Derbanne M, Moinet A, Tincq F, Bonte E. Les matériaux bulk-fill : un premier bilan. Clin Mens Omnipraticien En Médecine Buccodentaire. janv 2018;

36. Kim RJ-Y, Kim Y-J, Choi N-S, Lee I-B. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. J Dent. avr 2015;43(4):430-9.

37. Kim K, Son KM, Kwon JH, Lim B-S, Yang H-C. The effects of restorative composite resins on the cytotoxicity of dentine bonding agents. Dent Mater J. 2013;32(5):709-17.

38. Cai X, Han B, Liu Y, Tian F, Liang F, Wang X. Chlorhexidine-Loaded Amorphous Calcium Phosphate Nanoparticles for Inhibiting Degradation and Inducing Mineralization of Type I Collagen. ACS Appl Mater Interfaces. 19 avr 2017;9(15):12949-58.

39. Attal JP. Les ciments verres ionomères (CVI). :21.

40. Milestones in Adhesion: Glass-ionomer Cements.

41. Croll TP, Nicholson JW. Glass ionomer cements in pediatric dentistry: review of the literature. Pediatr Dent. oct 2002;24(5):423-9.

42. Kovarik RE, Haubenreich JE, Gore D. Glass Ionomer Cements: A Review of Composition, Chemistry, and Biocompatibility as a Dental and Medical Implant Material. J Long Term Eff Med Implants. 2005;15(6).

43. Nicholson JW, Braybrook JH, Wasson EA. The biocompatibility of glass-poly(alkenoate) (Glass-Ionomer) cements: a review. J Biomater Sci Polym Ed. 1991;2(4):277-85.

44. Sidhu SK, Schmalz G. The biocompatibility of glass-ionomer cement materials. A status report for the American Journal of Dentistry. Am J Dent. déc 2001;14(6):387-96.

45. Paiva L, Fidalgo TKS, da Costa LP, Maia LC, Balan L, Anselme K, et al. Antibacterial properties and compressive strength of new one-step preparation silver nanoparticles in glass ionomer cements (NanoAg-GIC). J Dent. févr 2018;69:102-9.

46. Cheng L, Weir MD, Xu HH, Antonucci J, Kraigsley AM, Lin NJ, et al. Antibacterial amorphous calcium phosphate nanocom- posites with a quaternary ammonium dimethacrylate and silver nanopar- ticles. Dent Mater. 2012;28(5):561-72.

47. Wohlgemuth P. Le coiffage pulpaire: techniques actuelles. Université de Lorraine, Factulté d'Odontologie de Nancy; 2014.

48. Armengol V, Dupas C, Hyon I, Gaudin A. Endodontie et patients à risques. Réal Clin. 25:14.

49. Association Dentaire Française. Risques Médicaux - Guide prise en charge par le chirurgien dentiste. 2013.

50. Pinna R, Maioli M, Eramo S, Mura I, Milia E. Carious affected dentine: its behaviour in adhesive bonding. Aust Dent J. sept 2015;60(3):276-93.

51. Rosatto CMP, Bicalho AA, Veríssimo C, Bragança GF, Rodrigues MP, Tantbirojn D, et al. Mechanical properties, shrinkage stress, cuspal strain and fracture resistance of molars restored with bulk-fill composites and incremental filling technique. J Dent. déc 2015;43(12):1519-28.

52. Orłowski M, Tarczydło B, Chałas R. Evaluation of Marginal Integrity of Four Bulk-Fill Dental Composite Materials: In Vitro Study. The Scientific World Journal. 2015.

53. Kim B-R, Oh M-H, Shin D-H. Effect of cavity disinfectants on antibacterial activity and microtensile bond strength in class I cavity. Dent Mater J. 30 mai 2017;36(3):368-73.

54. Silva PFD, Oliveira LRS, Braga SSL, Signori C, Armstrong SR, Soares CJ, et al. Effect of selective carious tissue removal on biomechanical behavior of class II bulk-fill dental composite restorations. Dent Mater. sept 2018;34(9):1289-98.

55. Raskin A, Dejou J. In Vitro Microleakage of Biodentine as a Dentin Substitute Compared to Fuji II LC in Cervical Lining Restorations. J Adhes Dent. 23 avr 2012;(6):535–542.

56. Bjørndal L. Indirect pulp therapy and stepwise excavation. 2008;

57. Melo MAS, Rolim JPML, Passos VF, Lima RA, Zanin ICJ, Codes BM, et al. Photodynamic antimicrobial chemotherapy and ultraconservative caries removal linked for management of deep caries lesions. Photodiagnosis Photodyn Ther. déc 2015;12(4):581-6.

58. Franzon R, Opdam N., Guimarães LF, Demarco F., Casagrande L, Haas AN, et al. Randomized controlled clinical trial of the 24-months survival of composite resin restorations after one-step incomplete and complete excavation on primary teeth. J Dent. oct 2015;43(10):1235-41.

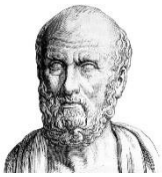
59. Degrange M, coll. Retrait et contrainte de polymérisation des composites. L'Information Dentaire n°34. nov 2006;

60. Payne JH. The marginal seal of Class II restorations: flowable composite resin compared to injectable glass ionomer. J Clin Pediatr Dent. 1999;23(2):123-30.

61. Peutzfeldt A, Asmussen E. Composite restorations: influence of flowable and self-curing resin composite linings on microleakage in vitro. Oper Dent. déc 2002;27(6):569-75.

62. Koubi S, Aboudharam G. Inlays/onlays en résine composite : évolution des concepts. :16.

63. Lasserre J, Laborde G, Koubi S, Lafargue H, Couderc G, Maille G, et al. Restaurations céramiques antérieures (2) : préparations partielles et adhésion. Réal Clin. 21:13.



SERMENT MEDICAL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois déshonoré et méprisé de mes confrères si j'y manque.

BUTTIGIEG Pierre – Traitement des lésions carieuses profondes : choix des matériaux et préservation pulpaire

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2018

Rubrique de classement : Odontologie Conservatrice

Résumé:
La maladie carieuse, maladie chronique la plus répandue à travers le monde, si elle n'est pas traitée à temps, progresse en direction pulpaire. La bonne gestion de la carie profonde et de l'éventuelle symptomatologie pulpaire est le dernier rempart face à l'agression, avant de sombrer dans une pathologie pulpaire irréversible. La restauration de la carie profonde est une thérapeutique nécessitant minutie et réflexion afin d'assurer une pérennité de la restauration et une protection optimale de l'organe pulpaire. Le but de ce travail est de présenter les différentes armes thérapeutiques à disposition du praticien afin de traiter ces lésions carieuses profondes et de conserver la vitalité pulpaire.
Après avoir défini l'étiologie de la carie, ses méthodes de classification et les moyens de la détecter, nous nous concentrerons plus en détail sur les particularités histologiques qui font des lésions carieuses profondes des cas nécessitant réflexion et méthode. Nous verrons ensuite les différents avantages et inconvénients des biomatériaux de préservation de la vitalité pulpaire dans le cadre d'une thérapie pulpaire. Enfin, après avoir étudié les différents biomatériaux de restauration définitive et substituts dentinaires, nous nous concentrerons sur leurs conditions d'utilisation selon le caractère plurifactoriel de ce type de restauration.

Mots clés: Carie dentaire ; Exposition Pulpaire ; Coiffage Pulpaire ; Boue Dentinaire ; Restaurations Dentaires Permanentes

BUTTIGIEG Pierre - Treatment of deep carious lesions: choice of materials and pulp preservation

Abstract:
The carious disease, the most common chronic disease worldwide, if not treated in time, progresses towards the pulp. The good management of deep carious lesions and possible pulpal symptomatology is the last bastion against aggression, before sinking into an irreversible pulpal pathology. The restoration of deep carious lesions is a treatment that requires careful thought to ensure the long-term restoration and optimal protection of the pulp. The purpose of this work is to present the various therapeutic weapons available to the practitioner in order to treat these deep carious lesions and preserve pulp vitality.
After defining the etiology of caries, its classification methods and the means of detecting it, we will focus in more detail on the histological peculiarities that make deep carious lesions of cases requiring reflection and method. We will then see the various advantages and disadvantages of biomaterials for preserving pulp vitality in the context of pulp therapy. Finally, after studying the different biomaterials of final restoration and dentinal substitutes, we will focus on their conditions of use according to multifactorial parameters of this type of restoration.

MeSH: Dental Caries; Dental Pulp Exposure; Dental Pulp Capping; Smear Layer; Dental Restoration, Permanent

Adresse de l'auteur :
161 Chemin du Lac
13430 EYGUIERES