



HAL
open science

Les matériaux bioactifs dans le traitement des lésions cavitaires (ICDAS 4 à 6) en odontologie restauratrice

Jonathan Roux

► **To cite this version:**

Jonathan Roux. Les matériaux bioactifs dans le traitement des lésions cavitaires (ICDAS 4 à 6) en odontologie restauratrice. Médecine humaine et pathologie. 2022. dumas-04017408

HAL Id: dumas-04017408

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04017408v1>

Submitted on 7 Mar 2023

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

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



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

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

École de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Les matériaux bioactifs dans le traitement des lésions
cavitaires (ICDAS 4 à 6) en odontologie restauratrice***

Présentée par

ROUX Jonathan

Né le 02/11/1989
A Grasse
(Alpes-Maritimes-06)

Thèse soutenue le **08/09/2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur TERRER Elodie

Assesseurs : Professeur TASSERY Hervé

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur PILLIOL Virginie

Invité : Docteur RUFAS Pierre

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant

Aix-Marseille Université
(Président : Monsieur le Professeur Éric BERTON)

Faculté des Sciences Médicales et Paramédicales
(Doyen : Monsieur le Professeur Georges LEONETTI)

École de Médecine Dentaire
(Directeur : Monsieur le Professeur Bruno FOTI)

***Les matériaux bioactifs dans le traitement des lésions
cavitaires (ICDAS 4 à 6) en odontologie restauratrice***

Présentée par

ROUX Jonathan

Né le 02/11/1989
A Grasse
(Alpes-Maritimes-06)

Thèse soutenue le **08/09/2022**

Devant le jury composé de

Président : Professeur TERRER Elodie

Assesseurs : Professeur TASSERY Hervé

Docteur GIRAUD Thomas

Docteur PILLIOL Virginie

Invité : Docteur RUFAS Pierre

ADMINISTRATION

Doyens Honoraires	Professeur	Raymond SANGIUOLO+	
	Professeur	Henry ZATTARA	
	Professeur	André SALVADORI	
	Professeur	Jacques DEJOU	
Directeur	Professeur	Bruno FOTI	
Directeurs adjoints	Professeur	Michel RUQUET	
	Professeur	Anne RASKIN	
Chargés de missions			
	Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
	Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET	
Relations Internationales	Professeur	Hervé TASSERY	
Internat et Diplômes d'Études Spécialisées	Professeur	Virginie MONNET-CORTI	
Affaires générales	Docteur	Patrick TAVITIAN	
Responsable Administrative	Madame	Katia LEONI	

PROMOTIONS :

2019 Raymond SANGIUOLO

2020 Gaston BERGER

2021 Joseph MIGOZZI

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS

BUKIET Frédéric (58-01)
FOTI Bruno (58-02)
LE GALL Michel (56-01)
MONNET-CORTI Virginie (57-01)
RASKIN Anne (58-01)
RUQUET Michel (58-01)
TARDIEU Corinne (56-01)
TARDIVO Delphine (56-02)
TASSERY Hervé (58-01)
TERRER Elodie (58-01)

PROFESSEUR DES UNIVERSITÉS

ABOUT Imad (65)

PROFESSEURS ÉMÉRITES

DEJOU Jacques (58-01)
HUE Olivier (58-01)

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS – PRATICIENS HOSPITALIERS

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAN Romain (56-02)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Michel (58-01)
BELLONI Didier (57-01)	MAILLE Gérald (58-01)
BOHAR Jacques (56-01)	MENSE Chloé (58-01)
CAMOIN Ariane (56-01)	PHILIP-ALLIEZ Camille (56-01)
CAMPANA Fabrice (57-01)	POMMEL Ludovic (58-01)
CATHERINE Jean-Hugues (57-01)	PRECKEL Bernard-Éric (58-01)
GAUBERT Jacques (56-01)	RÉ Jean-Philippe (58-01)
GIRAUD Thomas (58-01)	ROCHE-POGGI Philippe (57-01)
GIRAUDEAU Anne (58-01)	STEPHAN Grégory (58-01)
GUIVARC'H Maud (58-01)	TAVITIAN Patrick (58-01)
JACQUOT Bruno (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉS

BALLESTER Benoît (58-01)

BLANCHET Isabelle (58-01)

CASAZZA Estelle (58-01)

SILVESTRI Frédéric (58-01)

CHEFS DE CLINIQUE DES UNIVERSITÉS - ASSISTANTS DES HÔPITAUX

ANTEZACK Angeline (57-01)

ARNIER Canelle (56-01)

BAUDINET Thomas (58-01)

BOREL Guillaume (56-02)

BRINCAT Arthur (57-01)

BROS Agnès (56-01)

CHIARINI Thomas (58-01)

DUPRAT Florence (56-01)

FAURE-BRAC Mathias (57-01)

FERRE Enzo (58-01)

FOUQUES Agathe (56-01)

HAMMOUTENE Stéphane (57-01)

LAFONT Jacinthe (57-01)

LAURENT Camille (58-01)

LIOTARD Alicia (58-01)

MADENIAN Pauline (58-01)

MANSUY Charlotte (58-01)

MARCHAL Paul (58-01)

MARTIN William (56-01)

ONGHENA Tom (56-01)

PASCHEL Laura (58-01)

PILLIOL Virginie (58-01)

PRINCE Fanny (57-01)

RAYNAUD Camille (58-01)

REYNAL Florence (56-01)

ROMAO Vincent (57-01)

ROUSCOFF Eva (57-01)

SADOWSKI Camille (57-01)

TERRER Jérémy (58-01)

VEILLARD Pierre (56-01)

ASSISTANT DES UNIVERSITÉS ASSOCIÉ

GRINE Ghilès (57-01)

Intitulés des sections CNU :

56^{ème} section : Développement, croissance et prévention

56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale

56-02 : Prévention – Épidémiologie – Économie de la santé – Odontologie légale

57^{ème} section : Chirurgie orale, Parodontologie, Biologie Orale

57-01 : Chirurgie orale – Parodontologie – Biologie orale

58^{ème} section : Réhabilitation orale

58-01 : Dentisterie restauratrice – Endodontie – Prothèses – Fonction-Dysfonction – Imagerie – Biomatériaux

L'auteur s'engage à respecter les droits des tiers, et notamment les droits de propriété intellectuelle. Dans l'hypothèse où la thèse comporterait des éléments protégés par un droit quelconque, l'auteur doit solliciter les autorisations nécessaires à leur utilisation, leur reproduction et leur représentation auprès du ou des titulaires des droits. L'auteur est responsable du contenu de sa thèse. Il garantit l'Université contre tout recours. Elle ne pourra en aucun cas être tenue responsable de l'atteinte aux droits d'un tiers

A Madame le Professeur **Elodie TERRER**,

Qui me fait le grand honneur de présider ce jury de thèse.

Je vous remercie pour votre gentillesse, votre pédagogie bienveillante en cours ou au pôle, et votre disponibilité auprès des élèves en perte de confiance. Vous avez l'art d'enseigner par le conseil et le partage plutôt que par la critique et vous permettez aux étudiants de se sentir et d'être capables.

Soyez assurée de mon profond respect et de ma sincère gratitude.

A Monsieur le Professeur **Hervé TASSERY**,

Il y a tellement de choses pour lesquelles je dois vous remercier que je ne sais par où commencer. Tout d'abord c'est en grande partie grâce à vous que j'ai pu réaliser mon rêve de reconversion. Vous avez su me guider tout au long de cette passerelle et de ses quatre années passionnantes mais éreintantes.

Merci pour votre disponibilité, pour votre pédagogie, pour vos blagues et votre constant soutien à mon égard.

Merci de m'avoir confié un sujet de thèse qui vous tenait à cœur et de m'avoir si bien guidé. J'espère l'avoir correctement traité.

J'espère et je crois sincèrement que nous n'en avons pas fini de nos discussions passionnées sur l'avenir de l'odontologie restauratrice ainsi que sur l'avenir tout court...

Veillez recevoir le témoignage de ma plus haute estime et de ma grande reconnaissance.

A Monsieur le Docteur **Thomas GIRAUD**,

Qui m'a tant aidé durant ces quatre années ! Merci d'avoir toujours été un pilier pour Pierre et moi et de nous avoir permis de tenir bon. Travailler à tes cotés est un grand plaisir et tu partages ta connaissance sans modération mais toujours avec une pointe d'humour. Tu as toujours su trouver les mots pour dédramatiser et tu m'as plusieurs fois sauvé la mise...
C'est un immense plaisir et un grand honneur de te compter dans ce jury pour terminer cette aventure.

A Madame le Docteur **Virginie PILLIOL**,

Je suis ravi que vous ayez accepté de siéger dans ce jury de thèse. Merci pour votre encadrement et tous ses bons conseils pratiques que ce soit en odontologie restauratrice ou lors des vacations d'urgences palpitantes. Apprendre et travailler à vos côtés se fait naturellement et avec plaisir car vous avez non seulement la passion du métier mais vous êtes aussi totalement investie pour nous soutenir pédagogiquement, moralement et humainement.

Merci d'avoir égayé les confinements par vos présentations ludiques et passionnantes, et merci de l'énergie que vous offrez pour nous soutenir en clinique.

Veillez croire en mon admiration et mon immense reconnaissance.

A Monsieur le Docteur **Pierre RUFAS**,

Ou devrais-je dire Monsieur le double docteur ?

Je suis si heureux d'avoir été ton acolyte durant cette folle aventure qui restera inoubliable de par ses bons et ses moins bons moments. Nous nous sommes rencontrés comme concurrents, puis camarades, puis amis, puis trinôme, pour en venir à se considérer de la même famille. Et bien nous voilà aussi aujourd'hui confrères !

Je ne suis pas superstitieux mais si la providence existe, elle n'aurait jamais pu faire mieux que de nous mettre sur le même chemin. Nous nous sommes entraïdés en TP, perfectionnés en révisions, assistés en clinique, soutenus au Glam et ailleurs...

Je n'oublierai jamais tous ces bons moments partagés avec toi (même les TP alginates).

Sois assuré que ta présence dans ce jury est le fruit de toute mon admiration, de ma reconnaissance et de mon amitié à ton égard.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	1
2. Définition des matériaux bioactifs en odontologie restauratrice	2
3. Les matériaux	3
3.1. Les ciments verres ionomères (CVI)	3
3.1.1. CVI conventionnels (polyakénoates)	3
3.1.2. CVI haute viscosité (CVI-HV)	4
3.1.3. CVI hybrides	5
3.1.4. CVI et CVI-HV modifiés par adjonction de résine (CVIMAR, CVIMAR-HV).....	6
3.1.5. Tableau récapitulatif des matériaux de type CVI, de leurs propriétés et des formes commerciales disponibles à ce jour.	6
3.2. Les résines composites	8
3.2.1. Résines composites enrichies en minéraux.....	8
3.2.2. Giomers	9
3.2.3. Résine composite alcaline enrichie en minéraux	10
3.2.4. Tableau récapitulatif des matériaux de type résine composite, de leurs propriétés et leurs formes commerciales disponibles à ce jour	11
3.3. Les silicates de calciums	13
3.3.1. Biodentine	13
3.3.2. MTA modifié par adjonction de résine (MTAMAR)	14
3.3.3. Tableau récapitulatif des matériaux de type silicates de calcium, de leurs propriétés et leurs formes commerciales disponibles à ce jour	15
3.4. Le fluorure de diamine d'argent (SDF)	16
3.5. Les adhésifs : tableau récapitulatif	17
4. Indications	18
4.1. Risque carieux individuel (RCI)	18
4.1.1. Historique	19
4.1.2. CAMBRA : caries management by risk assessment	20
4.1.3. Application "MI dentistry CRA"	23
4.2. Activité carieuse de la dentine ou de l'émail.....	26
4.3. Présence ou non d'émail cervical.....	27
4.4. Règles d'applications cliniques pour les lésions cavitaires	31
4.4.1. Lésions carieuses occlusales	31
4.4.2. Lésions carieuses proximales.....	32
5. Limites de ces matériaux.....	33
6. Cas cliniques	37
6.1. Madame X	37
6.2. Monsieur Y	40
6.3. Monsieur Z	43
7. Conclusion	47

1. Introduction

La dentisterie préventive et minimalement invasive est aujourd'hui parfaitement définie et conceptualisée sous la forme de plusieurs concepts tels que (1–10) :

- **MIOC** : pour « Minimum Intervention Oral Health Care »
- **CariesCare**
- **MITP** : pour « Mininal Intervention Treatment Plan »

Cela suppose une prestation de soin individualisée pour chaque patient, et l'utilisation d'un dispositif conforme aux dernières données acquises de la science pour la détection, le diagnostic et le suivi des pathologies, afin de maintenir une bonne santé bucco-dentaire tout au long de la vie.

Ces concepts promeuvent le concept **MID** (Minimally Invasive Dentistry), qui définit trois niveaux d'intervention (4,11) :

- Non invasif
- Micro-invasif
- Invasif

Les soins réalisés doivent donc être plus respectueux des tissus durs et mous de la cavité buccale, et suivre les avancées technologiques en employant des biomatériaux bioactifs dits « intelligents ». L'objectif de cette démarche diagnostique et thérapeutique moderne est donc de promouvoir une approche plus biologique qui participe à soigner une structure vivante d'une pathologie, plutôt qu'une approche mécanistique qui remplace seulement ce qui a été détérioré.

Néanmoins, l'application de cette dentisterie moderne reste très variable sur les différents continents et reste soumise à l'éthique des praticiens, et aux politiques de santé de chaque pays concerné.

Ainsi, près de 60% des quelques 170 millions de restaurations en composite et amalgame placées chaque année aux États-Unis sont des remplacements de restaurations défailantes (12). De plus, le taux d'échec des restaurations en composite étant 2 à 3,5 fois supérieur à celui des amalgames, l'abandon massif des restaurations en amalgame au profit de celles en composite entraîne de facto l'augmentation de la proportion de restaurations défailantes à remplacer ; chaque ré-intervention risquant d'entraîner une lésion pulpaire, une faiblesse accrue de la dent, voire la perte totale de celle-ci.

Les patients à risque carieux élevé (HCR) et ceux présentant des lésions carieuses avancées sont particulièrement vulnérables à l'échec des restaurations en composite (13). De plus, la mauvaise adhésion des systèmes adhésifs actuels sur la dentine est très problématique pour les lésions de la marge gingivale car il n'y a à ce niveau que peu ou pas d'émail collable. Les restaurations à cette marge sont aussi plus sujettes à l'échec car il est difficile d'obtenir une bonne isolation et un contrôle adéquat de l'humidité.

Dans le cadre de lésions profondes, l'épaisseur de dentine au-dessus de la pulpe ne peut être cliniquement évaluée avec précision, l'utilisation d'un matériau à base biologique est donc recommandée. Ce matériau (ciment hydraulique à base de silicate

de calcium ou de verre ionomère) pourrait être appliqué sur la barrière dentinaire avant d'être recouvert par une restauration définitive en résine composite.

De plus, les composites conventionnels n'ont pas la capacité d'augmenter le pH local, ce qui entraîne la prolifération des bactéries acidogènes et donc une plus grande cariogénicité du biofilm. Avec le manque de propriétés antibactériennes, le manque de pouvoir tampon des composites peut expliquer la plus grande susceptibilité de ceux-ci aux caries secondaires.

Bien que cette nouvelle approche de dentisterie biologique ou bioactive soit aujourd'hui mondialement reconnue, il reste encore à définir clairement un biomatériau à relargage d'ions (BRI), à valider ces nouvelles stratégies avec les produits existants sur le marché, définir les critères d'intervention, et expliquer pourquoi utiliser un BRI plutôt qu'une résine composite classique sous la forme d'algorithmes décisionnels.

2. Définition des matériaux bioactifs en odontologie restauratrice

Dans un premier temps, le principal moteur de la recherche en odontologie restauratrice fut de produire de nouveaux matériaux mieux tolérés par l'organisme et plus durable en améliorant leur biocompatibilité et leur adhésion. Ceci a permis l'avènement de la dentisterie adhésive et l'abandon des amalgames et autres restaurations mutilantes au profit de la dentisterie minimalement invasive.

Aujourd'hui le paradigme connaît une nouvelle évolution par les principes de biomimétisme et de bioactivité qui tendent à préconiser des thérapeutiques individualisées et permettant de soigner plutôt que de restaurer.

Pour Larry Hench, un matériau bioactif est un matériau ayant la capacité d'induire une réponse cellulaire et biologique spécifique à l'interface entre le matériau et le tissu biologique. Cette réponse cellulaire et biologique peut se traduire par la formation d'une liaison entre le matériau et le tissu, ou par la formation d'une couche superficielle d'un matériau de type apatite en présence de salive ou d'un substitut salivaire (14,15). La grande majorité des biomatériaux actuellement utilisés en odontologie restauratrice ne peuvent donc pas être qualifiés de bioactifs, mais plutôt de matériaux bio-interactifs, car ils peuvent dans le meilleur des cas : (16)

- Se lier au collagène et agir comme un modèle de calcium et de phosphore pour stimuler la nucléation de structures cristallines de type apatite
- Protéger le collagène de la dégradation
- Fournir un pH adéquat pour favoriser la formation de nouveaux minéraux
- Repousser ou limiter les bactéries.

Si aujourd'hui peu de matériaux réellement bioactifs sont disponibles en odontologie restauratrice, certaines équipes de chercheurs ont essayé de définir les caractéristiques requises des futurs biomatériaux dentaires afin d'améliorer l'efficacité des restaurations et éviter les échecs dans les domaines opératoires difficiles.

Pour Kreth *et coll.*, les biomatériaux dentaires du futur devront présenter certaines caractéristiques : (17)

- Modification chimique : perturbation de la membrane cellulaire bactérienne et effet « antisalissure » (antifouling),
- Topographie : structure de surface (création de nanotopographies chimiques, relargage mécanique des bactéries par photo-induction),
- Matériau à libération chimique : chlorhexidine (CHX), triclosan, particules d'argent, adhésif dopé, nanoparticules de silice relargant de l'oxyde nitrique.

3. Les matériaux

3.1. Les ciments verres ionomères (CVI)

D'une manière générale, on peut qualifier de verres ionomères les matériaux issus de la combinaison d'une poudre de verre et d'un ionomère acide. Le terme ciment, quant à lui, fait référence à la réaction de prise de type acide-base qui résulte du mélange des réactifs.

Ionomère (définition du Larousse) : association d'un copolymère de l'éthylène et d'un acide carboxylique insaturé avec des ions métalliques.

Les CVI au sens large du terme peuvent être définis comme des matériaux à base aqueuse ayant la capacité de durcir grâce à une réaction acido-basique entre une poudre de verre fluoro-alumino-silicate (FAS) basique et une solution acide d'acide polyacrylique.

3.1.1. CVI conventionnels (polyakénoates)

Les CVI conventionnels sont les CVI historique qui se présentent sous la forme d'une poudre (le verre FAS) que l'on doit mélanger avec un liquide (la solution d'acide polyacrylique)(18).

La poudre est un verre d'aluminosilicate de calcium soluble dans l'acide et contenant du fluor. Il est obtenu par la fusion de la silice, de l'alumine, de la fluorite de calcium, d'oxydes métalliques et de phosphates métallique à une température de 1100 à 1500°C. La poudre de **verre FAS** est donc composée de :

- Silice
- Alumine
- Fluorure
- Fluorure de calcium
- Phosphate d'aluminium
- Cryolite ($\text{Na}_3 \text{Al F}_6$)

A l'origine, **le liquide** des CVI était une solution aqueuse d'acide polyacrylique dilué à environ 50%, mais cette solution était trop visqueuse et tendait à figer avec le temps. L'acide polyacrylique a ensuite été copolymérisé avec d'autres acides comme l'acide itaconique, l'acide maléique et l'acide tricarboxylique, formant ainsi une solution polyélectrolytique aussi appelée **acide polyalkénoïque**.

Récemment, l'acide polyvinyl-phosphorique a également été introduit dans le système, ainsi que certains additifs :

- Acide tartrique
- Polyphosphates
- Oxydes métalliques

3.1.2. CVI haute viscosité (CVI-HV)

Les CVI-HV ont été développés assez récemment pour pallier le manque de résistance des CVI conventionnels en tant que restaurations définitives chez les patients à risque carieux élevés et/ou pour les restaurations interproximales juxta et sous-gingivales.

Ils diffèrent des CVI conventionnels par des particules de verres plus fines ainsi que par l'inclusion dans la poudre d'acide polyacrylique lyophilisé. Ceci permet d'augmenter leur résistance au stress et d'obtenir un ratio poudre/liquide majoré entraînant un matériau plus compact. Ils seront donc moins sensibles à la dégradation hydrique et à l'usure mécanique.

Avantages :

- **Résistance augmentée** à l'usure, la flexion et la compression (proche de celle des résines composites à J+7).
- **Relargage de fluor augmenté** par rapport aux CVI conventionnels.



Figure 1 : illustrations du conditionnement en capsule du Fuji IX GP Extra (GC, Tokyo, Japon) et du Riva Self Cure HV (SDI, Victoria, Australie).

Le point faible de ce type de CVI étant leur faible résistance à l'abrasion pendant la première semaine, certains produits sont associés à une résine de glaçage nanochargée automordante avec une extrême hydrophilie et une très basse viscosité. C'est notamment le cas du Fuji IX GP Extra qui doit peut-être être protégé avec la résine de glaçage Fuji Coat LC. La résine pénètre la surface du CVI et adhère intimement aux tissus dentaires. Ainsi, pendant 4 mois le CVI-HV est infiltré et protégé de la dessiccation et des microtraumatismes occlusaux.

3.1.3. CVI hybrides

Fort du succès commercial remporté par la technologie Equia dès 2007, GC a perfectionné ce matériau pour lancer la gamme Equia Forte en 2014. Ce système combine un verre hybride haute densité (Equia Forte Fil) avec une résine de protection nanochargée photopolymérisable (Equia Forte Coat).

Ce qui différencie une verre hybride haute densité d'un CVI classique c'est l'ajout aux particules de verre FAS standard de charges de type FAS micrométriques (<4µm) très réactives. La libération accrue d'ions métalliques par les microparticules FAS améliore la réticulation de la matrice d'acide polyacrylique et les propriétés physiques globales. En outre, de l'acide polyacrylique de haut poids moléculaire a été ajouté à la phase liquide afin d'améliorer la stabilité chimique, la résistance aux acides et les propriétés physiques du ciment.

Enfin, l'efficacité du traitement de surface par la résine nanochargée photopolymérisable (Equia Forte Coat) a été améliorée par l'introduction d'un monomère multifonctionnel réactif qui accroît la résistance à l'usure, assure un meilleur taux de conversion lors de la photopolymérisation et assure un film plus mince et une surface plus lisse à la restauration définitive.

Avantages :

- Résistance et durabilité encore augmentées
- Meilleure translucidité
- Excellente biocompatibilité et propriétés biomimétiques
- Simplicité et rapidité de mise en œuvre



Figure 2 : illustration du kit Equia Forte HT (GC, Tokyo, Japon) incluant le matériau Equia Forte Fil et la résine de protection Equia Forte Coat.

3.1.4. CVI et CVI-HV modifiés par adjonction de résine (CVIMAR, CVIMAR-HV)

Ces matériaux combinent un CVI à réaction de prise acido-basique auto avec une résine photopolymérisable hydrophile. Le CVI peut être à faible ou haute viscosité. Ils ont été développés pour simplifier l'utilisation des CVI conventionnels en rapprochant leur mise en œuvre de celle des composites sans nécessiter de traitement de surface préalable. Un traitement dentinaire à base d'acide faible (acide polyacrylique) peut cependant être mis en œuvre afin d'augmenter leur adhésion dentinaire (« Dentin Conditioner »).

Avantages :

- Bonne étanchéité
- Rapidité et simplicité de mise en œuvre
- Propriétés mécaniques légèrement supérieures aux CVI conventionnels

L'ajout d'une matrice résineuse entraîne cependant plusieurs inconvénients :

- Pas de vraie propriété d'obturation en bloc du fait de la présence de résine photopolymérisable qui limite la hauteur des apports afin de garantir un bon taux de conversion de la résine.
- Pas de liaison covalente ou ionique entre les deux réseaux
- Absorption d'eau due à l'HEMA résiduel
- Résistance à l'usure médiocre sauf pour les CVIMAR-HV.

Les inconvénients de ces matériaux restreignent donc leurs indications et impliquent que les CVIMAR, notamment ceux à basse viscosité, soient principalement indiqués dans des techniques en « sandwich fermé » ou en restaurations provisoires.



Figure 3 : Illustration du conditionnement en capsule du Fuji II LC (GC, Tokyo, Japon) et du Riva LC HV (SDI, Victoria, Australie)

3.1.5. Tableau récapitulatif des matériaux de type CVI, de leurs propriétés et des formes commerciales disponibles à ce jour.

Types de matériaux	Propriétés bio-interactives	Effets biologiques	Inconvénients	Produits disponibles
CVI polyakénoates conventionnels	<p><u>Ions relargués et rechargés</u> : F, Ca, Al</p> <p>Formation de sels de polyakénoates avec une zone d'interdiffusion, et de polycarbonate de calcium.</p> <p>Les formes fluides relarguent plus d'ions fluorures.</p>	<p>Effet antibactérien</p> <p>Reminéralisation des tissus durs</p> <p>Propriété d'obturation en bloc (c'est à dire que les incréments peuvent être >2mm)</p>	<p>Réaction de prise longue</p> <p>Faible résistance à l'usure</p> <p>Inesthétiques</p>	<p>IonoStar Plus, Ionofil, Aqua Ionofil Plus (VOCO, Cuxhaven, Allemagne)</p> <p>Ketac Universal, Ketac Fil Plus (3M ESPE, St Paul, MN, USA)</p> <p>Riva Self Cure, Riva Protect (SDI, Victoria, Australie)</p> <p>Fuji Triage (GC, Tokyo, Japon)</p>
CVI-HV	<p><u>Ions relargués et rechargés</u> : F, Ca, Al</p> <p>Formation de sels de polyakénoates avec une zone d'interdiffusion, et de polycarbonate de calcium.</p>	<p>Effet antibactérien</p> <p>Reminéralisation des tissus durs</p> <p>Propriété d'obturation en bloc</p>	<p>Réaction de prise courte</p> <p>Viscosité élevée dépendante du produit</p>	<p>Fuji IX (GC, Tokyo, Japon)</p> <p>Chemfil Molar (Dentsply, York, Pensylvanie, USA)</p> <p>Ionostar Molar, Ionofil Molar AC Quick (VOCO, Cuxhaven, Allemagne)</p> <p>Ketac Molar, Ketac Molar Quick (3M ESPE, St Paul, Minnesota, USA)</p> <p>Riva Self-Cure HV (SDI, Victoria, Australie)</p>
CVI hybrides	<p><u>Ions relargués et rechargés</u> : F, Ca, Al</p> <p>Formation de sels de polyakénoates avec une zone d'interdiffusion, et de polycarbonate de calcium.</p>	<p>Effet antibactérien</p> <p>Reminéralisation des tissus durs</p> <p>Propriété d'obturation en bloc</p>	<p>Réaction de prise courte</p> <p>Viscosité élevée dépendante du produit</p>	<p>Equia Forte, Equia HT (GC, Tokyo, Japon)</p>

<p>CVIMAR et CVIMAR-HV</p>	<p><u>Ions relargués et rechargés :</u> F, Ca, Al</p> <p>Formation de sels de polyakénoates avec une zone d'interdiffusion, et de polycarbonate de calcium.</p>	<p>Facilitent la reminéralisation tissulaire</p> <p>Effet antibactérien</p>	<p>Pas de vraie propriété d'obturation en bloc</p> <p>Pas de liaison covalente ou ionique entre les deux réseaux</p> <p>Absorption d'eau due à l'HEMA résiduel</p> <p>Faible résistance à l'usure sauf pour les CVIMAR-HV</p>	<p>Fuji II, Fuji II LC (GC, Tokyo, Japon)</p> <p>Ionolux (VOCO, Cuxhaven, Allemagne)</p> <p>Photac Fil Quick Aplicap, Ketac Nano, Vitremer (3M ESPE, St Paul, Minnesota, USA)</p> <p>Riva Light-cure, Riva Light-cure HV (SDI, Victoria, Australie)</p>
-----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.2. Les résines composites

3.2.1. Résines composites enrichies en minéraux

Ces nouveaux matériaux ont récemment été développés afin de combiner les propriétés mécaniques et esthétiques optimales des composites avec les propriétés de relargage d'ions des CVI. Ceci fait donc théoriquement d'eux des matériaux de choix dans les restaurations pédiatriques, gériatriques et chez les patients à risque carieux élevé.

Ce sont donc des composites dynamiques, hydrophiles et enrichis en minéraux, qui libèrent et se rechargent en ions calcium, fluor et phosphate (pour **Activa**) en fonction du pH. Ils sont principalement composés d'un mélange de type résine qui diffère selon les matériaux, de particules de verre FAS réactives et d'acide polyacrylique modifié.

Avantages :

- Libération/recharge en ions Ca, F, PO₄³⁻ en fonction du pH local
- Esthétique
- Thixotrope
- Photopolymérisable

L'inconvénient majeur de ce type de matériau, comme pour les résines composites classiques, résulte de la présence de monomères non polymérisés. Ces monomères peuvent traverser les tubuli dentinaires et induire une cytotoxicité. Si à l'heure actuelle il existe clairement un manque de preuves pour la gamme Re-Gen, il semble que ce

phénomène soit limité avec Activa qui semble même moins cytotoxique que certains CVIMAR comme Ionolux ou Riva LC (19).

→ Matériau à potentiel autoadhésif : **Surfil one**

C'est un matériau de type résine composite bulk, autoadhésif et à prise duale, principalement indiqué pour des restaurations postérieures.

Il reprend la composition développée ci-dessus à ceci près que l'acide polyacrylique est fonctionnalisé par des groupements polymérisables appelés MOPOS (modified polyacid system). Ceci permet l'obtention d'un réseau compact et imbriqué à l'origine des excellentes propriétés mécaniques et de la résistance du matériau (comparable au système Scotchbond Universal). En outre, son potentiel auto-adhésif facilite sa mise en œuvre et raccourci le temps opératoire.

Bien que paraissant prometteur, il faut cependant modérer ces propos par le manque actuel de preuve et de recul clinique.



Figure 4 : illustration du conditionnement en seringue du Activa Presto (Pulpdent, Watertown, NY, USA) et en capsules du Surfil One (Dentsply, York, Pennsylvanie, USA).

3.2.2. Giomers

Ce sont des résines composites dans lesquelles ont été incorporés des particules de verre FAS préactivées par un traitement dans un liquide polyacide. Cette technologie appelée S-PRG (pour Surface Pre-Reacted Glass-ionomer) cumule la présence de microparticules de verre recouvertes par une phase stable de verre ionomère, ainsi que la présence des nanoparticules de verre ionomère.

Avantages :

- Absorption et relargage de fluor
- Rendu esthétique naturel
- Effet anti-plaque
- Radio-opacité élevée
- Stabilité à long terme
- Bonne résistance à l'abrasion

Bien que relargant du fluor et ayant donc un effet antiplaque, les performances cliniques de ces matériaux semblent équivalentes à celles des composites traditionnels et ils sont donc utilisés dans les mêmes indications sans apporter un avantage clinique décisif.



Figure 5 : illustration du conditionnement en seringue et en capsules du Beautifil II (Shofu Dental, Corporation, Kyoto, Japon)

3.2.3. Résine composite alcaline enrichie en minéraux

Le Cention N est un matériau de restauration alcalin à prise duale, développé pour regrouper les avantages des amalgames et des CVI en y ajoutant quelques améliorations. Il est donc le représentant d'une nouvelle classe de matériaux de type résine auquel ont été ajoutées des charges de verre alcalin. Ce verre alcalin ne génère pas de réaction acidobasique mais les 3 sels qui y sont couplés (Na_2O , CaO , CaF_2) peuvent être dissous par l'eau de la salive en fonction du pH pour libérer des ions (Ca, F et OH) et ainsi agir comme un système tampon.

Ce matériau résulte du mélange d'une poudre et d'un liquide contenant :

- Dans la poudre :
 - o Des particules de charge :
 - Du verre bario-alumino-silicate
 - Du trifluorure d'ytterbium
 - La technologie Tetric N-ceram
 - Du verre calcio-bario-fluoro-alumino-silicate
 - Du verre calcio-fluoro-silicate
 - o Divers initiateurs
- Dans le liquide :
 - o UDMA : diméthacrylate d'uréthane
 - o DCP : diméthacrylate de tricyclodécane-diméthanol
 - o UDMA aromatique aliphatique
 - o PEG-400 DMA : diméthacrylate de polyéthylène glycol 400

Avantages :

- Pouvoir tampon, prévient la déminéralisation
- Favorise la reminéralisation
- Peut être utilisé sans adhésif mais cela diminue la résistance (21)
- Plus résistant et plus esthétique que les CVI et amalgames (20,22)



Figure 6 : illustration du conditionnement en flacon poudre-liquide du Cention N (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

3.2.4. Tableau récapitulatif des matériaux de type résine composite, de leurs propriétés et leurs formes commerciales disponibles à ce jour

Types de matériaux	Propriétés bio-interactives	Effets biologiques	Inconvénients	Produits disponibles
Résines composites enrichies en minéraux	<u>Ions relargués et rechargés</u> : F La poudre contient des particules de verre FAS et de l'acide polyacrylique	Résistance aux contraintes augmentée Stabilité chimique augmentée grâce à la couche hybride formée par les adhésifs universels modernes en mordantage/rinçage	Manque de recul clinique et d'études, surtout pour les produits Re-Gen	Activa, Activa Liner, Presto (Pulpdent, Watertown, NY, USA) Re-Gen Flowable Composite, Re-Gen Bulk Fill Composite (Apex, Las Vegas, Nevada, USA)
Résines composites à potentiel auto-adhésif enrichies en minéraux	<u>Ions relargués et rechargés</u> : F, Al, Ca Acide polyacrylique de haut poids moléculaire fonctionnalisé par des	Relargage d'ions	Réaction de prise courte Très haute viscosité Manque de recul clinique et d'études en tant que	Surfil 1 Self-adhesive hybrid resin composite (Dentsply, York, Pensylvanie, USA)

	groupements polymérisables (MOPOS) ; prise duale Pas de système adhésif associé		nouveau produit	
Giomers	<u>Ions relargués et rechargés</u> : F Matériaux composites à base de résine avec incorporation de charges de verre ionomère pré-activé en surface (S-PRG)	Le principal avantage et l'amélioration du relargage de fluor mais leurs performances cliniques sont comparables aux résines composites traditionnelles	Mêmes indications et limites que les résines composites traditionnelles	Beautifil II, Beautifil II Gingiva Shades, BeautiSealant (Shofu Dental Corporation, Kyoto, Japon)
Résines composites alcasites enrichies en minéraux	<u>Ions relargués et rechargés</u> : F, Ca, OH Pas de réaction acidobasique : le verre alcalin réagit avec l'eau La silice est couplée avec 3 sels (Na ₂ O, CaO, CaF ₂) qui dissouts par la salive permettent le relargage d'ions en fonction du pH Utilisation avec un primer spécifique	Les ions OH régulent le pH lors des attaques acides et préviennent la déminéralisation <u>Ions F et Ca</u> : Pouvoir tampon à pH acide, prévient la déminéralisation. Formation d'apatite à pH neutre (<i>in vitro</i>) en présence de phosphate.	Réaction de prise courte (4min) Très haute viscosité Manque de recul clinique et d'études en tant que nouveau produit	Cention N (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)

3.3. Les silicates de calciums

Les silicates de calcium sont des composés obtenus à partir de la chaux (oxyde de calcium) et de la silice (dioxyde de silicium).

Le MTA (Mineral Trioxide Aggregate) fut le premier silicate de calcium introduit par le Dr Mahmoud Torabinejad et ses collaborateurs à l'université Loma Linda (Californie, USA) (23). Ce matériau biocompatible peut être utilisé dans des applications chirurgicales et non chirurgicales incluant le coiffage pulpaire direct, les obturations temporaires, le traitement des perforations radiculaires ou du plancher pulpaire, ainsi que les apexifications et les obturations apicales.

Malgré sa grande efficacité clinique, ce matériau n'est pas utilisé à grande échelle car il présente plusieurs défauts dont les deux principaux sont un temps de prise très long et une manipulation difficile (texture sableuse).

3.3.1. Biodentine

Plus récemment, la Biodentine a été formulée à partir de la technologie des ciments à base de MTA afin d'en améliorer ses qualités physiques et sa simplicité d'utilisation. Ce matériau bioactif pénètre mieux les tubuli dentinaires ouverts pour se cristalliser en s'imbriquant dans la dentine, ce qui lui confère de bonnes propriétés mécaniques. Il a de plus un comportement plus plastique que le MTA et donc plus commode à mettre en œuvre en bouche.

La Biodentine se présente sous la forme de capsules contenant le mélange de poudres, dans lesquelles il faut ajouter un liquide avant de mélanger le tout à l'aide d'un vibreur. Elle se compose de :

- *Composition de la poudre :*
 - o Silicate tricalcique (matériau principal)
 - o Silicate dicalcique (matériau secondaire)
 - o Carbonate de calcium (charge)
 - o Oxyde de zirconium (radio-opacifiant)
 - o Oxyde de fer (agent colorant)
- *Composition du liquide :*
 - o Chlorure de calcium (accélérateur)
 - o Polymères hydrosolubles (agent réducteur)
 - o Eau

Après le mélange poudre liquide, les particules de silicate de calcium sont hydratées par l'eau pour former une solution à pH basique contenant des ions calcium, hydroxyde et silicates. L'hydratation du silicate tricalcique entraîne la formation d'un gel de silicate de calcium hydraté sur les particules de ciment, et la nucléation de l'hydroxyde de calcium. Au fil du temps, le gel de silicate de calcium hydraté se polymérise pour former un réseau solide, et l'alcalinité du milieu augmente en raison de la libération d'ions hydroxyde de calcium (24,25).

Avantages :

- La réaction de prise alcaline peut réduire l'activité des **MMP** (métalloprotéases matricielles) et elle entraîne un effet **antibactérien** sur la dentine affectée.
- La dégradation des fibres de collagène entraîne la formation d'un substrat poreux qui favorise la pénétration de fortes concentrations d'ions calcium et carbonate, conduisant à une **minéralisation** de l'interface.

- Résistance à la compression équivalente à la dentine naturelle (300 MPa) après 1 mois (26).

L'inconvénient majeur de la Biodentine résulte du fait qu'elle nécessite une maturation pour être résistante et obtenir une bonne adhésion. Il faut donc la plupart du temps une deuxième intervention afin de retirer l'excès de Biodentine et de terminer la restauration en la recouvrant par un matériau de restauration plus résistant comme une résine composite.



Figure 7 : illustration du kit de Biodentine (Septodont, St Maures des fossés, France).

3.3.2. MTA modifié par adjonction de résine (MTAMAR)

Le MTA est essentiellement composé de trois éléments en poudre : du ciment portland, de l'oxyde de bismuth, et du gypse (27). Selon son brevet, il est composé d'oxyde de calcium et d'oxyde de silicium qui constituent 70 à 95 % du ciment. Le mélange de ces matières premières produit du silicate tricalcique, du silicate dicalcique, de l'aluminate tricalcique et de l'aluminoferrite tétracalcique. Le MTA peut être blanc ou gris (ajout de fer).

Les MTAMAR sont des ciments de type MTA auquel a été ajouté une phase résine. Ils présentent donc les mêmes avantages que la Biodentine ou le MTA, mais amoindris par l'adjonction de la résine. Leur utilisation est plus aisée car ils ont aussi une prise de type photo permettant de les figer immédiatement, mais leur maturation reste nécessaire concernant la phase ciment. De plus, la présence de résine pose problème par sa toxicité puisque ces matériaux sont indiqués entre autres dans les coiffages pulpaire.



Figure 8 : illustration du conditionnement du TheraCal LC (Bisico, Schaumburg, Illinois, USA), et du MTA Plus (Avalon Biomed Inc., Houston, Texas, USA).

3.3.3. Tableau récapitulatif des matériaux de type silicates de calcium, de leurs propriétés et leurs formes commerciales disponibles à ce jour

Types de matériaux	Propriétés bio-interactives	Effets biologiques	Inconvénients	Produits disponibles
Silicates de calcium	<p><u>Ions relargués et rechargés</u> : Ca, CO₃</p> <p>Réaction de prise par hydratation et précipitation.</p> <p>Reminéralisation induite par l'alcalinité de la réaction</p> <p>L'alcalinité peut aussi réduire l'activité des MMP et procure un effet antibactérien sur la dentine affectée/infectée</p>	<p>Dégradation des fibres de collagène → augmentation de la porosité de l'interface</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Pénétration de fortes concentrations d'ions Ca et CO₃</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Augmentation de la minéralisation de l'interface</p>	<p>Temps de prise très long (maturation pendant 1 mois)</p> <p>Utilisation en tant que liner ou restauration temporaire</p>	<p>Biodentine (Septodont, St Maures des fossés, France)</p>

<p>MTAMAR</p>	<p>Propriétés bio-interactives proches de celle des silicates de calcium conventionnels mais moins efficaces</p>	<p>Traitement de la pulpe vitale par effet antibactérien et formation d'un pont dentinaire</p> <p>Manipulation simplifiée par la texture, la photomolymérisation, voire le conditionnement en seringue.</p>	<p>Utilisation en liner à proximité du complexe pulpo-dentinaire</p> <p>↓</p> <p>Potentiel cytotoxique des monomères de résine</p>	<p>TheraCal LC (Bisco, Schaumburg, Illinois, USA),</p> <p>MTA Plus, Neo MTA (Avalon Biomed Inc., Houston, Texas, USA)</p> <p>Endosequence BC sealer (Brasseler, Savannah, Georgie, USA),</p> <p>Angelus MTA, MTA Bio (Angelus, Londrina, Brésil),</p> <p>BioAggregate RetroMTA, BioMTA (Innovative IBC Inc, Vancouver, Canada),</p>
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.4. Le fluorure de diamine d'argent (SDF)

Le SDF (FDA en français → fluorure diamine d'argent) est utilisé dans certains pays depuis les années 70 pour ralentir voire arrêter le processus carieux. Ses effets antibactérien et reminéralisant sont un atout majeur dans la lutte contre la déminéralisation carieuse.

Dans la formule chimique du SDF, l'ion argent est lié à deux fonctions amines (qui stabilisent le fluorure d'argent) et à un ion fluorure ($\text{Ag}(\text{NH}_2)_2\text{F}$), et il en existe sous 3 concentrations (28) :

- 12 % soit 14 200 ppm de fluor
- 30 % soit 35 400 pp de fluor
- 38 % soit 44 800 ppm de fluor

Propriétés bio-interactives :

- L'argent a un pouvoir antimicrobien
- Le fluor a un pouvoir bactériostatique
- L'utilisation conjointe du SDF et de l'iodure de potassium génère un puissant effet antimicrobien et diminue les colorations induites par le SDF seul.

Le SDF s'utilise comme un vernis fluoré et peut être associé avec l'application d'une enzyme ou d'un conditionnement chemomécanique. Il est donc particulièrement

indiqué pour des patients à haut risque carieux tels que certains enfant (technique ART) ou en odontologie gériatrique, sous des restaurations de type CVI-HV.

Son inconvénient majeur est qu'il colore généralement le substrat dentaire d'une coloration noir-grisâtre, mais ceci peut être limité par l'association avec de l'iodure de potassium ou par le développement de produits en solution aqueuse (Riva Star Aqua).

Formes commerciales disponibles à ce jour :

- Riva Star, Riva Star Aqua (SDI, Victoria, Australie)
- Cariestop (Biodinâmica, Ibipora, Brésil)
- F Agamin (Tedequim, Cordoba, Argentine)
- Advantage Arrest (Elevate Oral Care, West Palm Beach, Floride, USA)
- e-SDF (Kids-E-Dental, Mumbai, Inde)
- Saforide (Toyo Seiyaku KaseiCo. LTD, Osaka, Japon)



Figure 9 : illustration du conditionnement du Riva Star (SDI, Victoria, Australie)

3.5. Les adhésifs : tableau récapitulatif

Types de matériaux	Propriétés bio-interactives	Effets biologiques	Inconvénients	Produits disponibles
Résine adhésive modifiée par adjonction de verre ionomère	<p>Les charges de verre ionomère contiennent du verre FAS pour la radio-opacité et le relargage de fluor</p> <p>Utilisation avec du composite seul ou avec un CVIMAR en substitut dentinaire</p>	<p>Diminue le risque de sensibilité post-opératoire</p> <p>Formation d'un joint étanche et souple permettant une bonne intégrité marginale et la réduction des tensions de rétractation</p> <p>Pas de formation de couche hybride</p>	Peu de données à ce jour	Riva Bond LC (SDI, Victoria, Australie)

Adhésif avec chlorhexidine	Relargage de chlorhexidine	Effet antibactérien Stabilisation de la couche hybride Effet anti-MMP	Effets très limités dans le temps	Peak adhesive (Ultradent, South Jordan, Utah, USA)
-----------------------------------	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------------------------

4. Indications

Les recommandations quant à l'utilisation d'un biomatériau à relargage d'ion (BRI) ont été clairement définies grâce à la méthode Delphi par un consensus d'expert, et la prise de décision est basée sur 3 critères (29) :

- La cavité carieuse,
- L'activité carieuse,
- La nettoyabilité de la lésion carieuse.

L'emploi d'un BRI pour le traitement de lésions occlusales ou proximales doit donc être considéré dans les situations cliniques suivantes :

- **Patient à risque carieux individuel élevé** : afin de rééquilibrer ce risque (3,30–34).
- **Lésion carieuse active de la dentine** : pour promouvoir l'arrêt du processus carieux, un pouvoir tampon et une zone d'interdiffusion à potentiel de reminéralisation (35).
- **Cavité carieuse avec peut ou pas d'émail à la marge gingivale** (36,37).

4.1. Risque carieux individuel (RCI)

Le RCI correspond au risque pour un patient donné de voir apparaître une ou plusieurs lésions carieuses dans sa cavité buccale. Le but étant d'évaluer ce risque pour chaque patient afin d'établir une prise en charge ainsi que des mesures de prévention adaptées et personnalisées en fonction des facteurs de risque individuels.

L'évaluation du RCI permet donc :

- De détecter les sujets à risque,
- D'identifier des leviers d'action pour améliorer ce RCI,
- D'envisager les possibilités de reminéralisation,
- Et de définir les mesures de prévention adaptées ainsi que la fréquence du suivi dentaire.

Dans plusieurs pays du monde, notamment aux États-Unis, le RCI est réparti en trois niveaux (faible, modéré, élevé). En France, l'évaluation du RCI est basée sur les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) de 2005 qui divisent les patients en RCI faible ou RCI élevé (38).

Selon la HAS, une réponse positive à un seul de ces critères permet de définir un patient comme ayant un RCI élevé :

- Absence de brossage quotidien avec un dentifrice fluoré,
- Ingestions sucrées régulières en dehors des repas (grignottage),

- Prise de médicament sucrés ou favorisant l'hyposialie,
- Présence de plaque dentaire visible à l'œil nu,
- Présence de lésions carieuses.

4.1.1. Historique

Les fondements de la dentisterie à intervention minimale (MID) furent posés à la fin des années 80 et au début des années 90, au Royaume Uni et en Australie. En 1992, Dawson et Makinson ont publié les premiers manuscrits relatifs à la MID (39,40). Ils ont évoqué un mouvement émergent dénonçant, sur la base d'investigations cliniques, l'inadéquation entre les besoins des patients et la prestation de soins en dentisterie restauratrice.

A la lumière des connaissances modernes en cariologie concernant l'histologie, la microbiologie et la physiopathologie, un nouveau concept porté par l'International Caries Classification and Management System™ (ICCMS) a vu le jour. Ce concept est un système axé sur les résultats de santé qui vise à maintenir la santé bucco-dentaire et à préserver les structures dentaires (41–43). Avec ce nouveau concept, l'évaluation du risque carieux individuel devient alors la pierre angulaire pour une bonne prise en charge en dentisterie minimale au travers d'algorithmes d'aide au raisonnement clinique (ARC).

L'ARC permet de déterminer les interventions appropriées (invasives ou non) ainsi que les intervalles du suivi à mettre en place. L'équipe de soins bucco-dentaire doit donc mettre en place des protocoles standardisés afin d'évaluer la susceptibilité de chaque patient/population à la maladie carieuse en faisant ressortir les facteurs de risque. Ces facteurs de risque ont été incorporés dans différents modèles d'évaluation du risque carieux, permettant à l'équipe de soins bucco-dentaires d'adopter une approche systématisée et logique pour synthétiser les informations sur cette maladie dont l'étiologie est multifactorielle.

Exemples de modèles d'ARC pouvant être utilisés chez les nourrissons et les enfants de moins de 6 ans :

- Système de gestion des caries par l'évaluation du risque (CAMBRA),
- Système de l'American Dental Association (ADA),
- Modèle d'évaluation du risque de carie de Dundee (DCRAM),
- Outil d'évaluation (CAT pour Caries-risk Assessment Tool) de l'Académie américaine de dentisterie pédiatrique (AAPD),
- MySmileBuddy (MSB) pour la gestion des caries de la petite enfance.

Exemples de modèles d'ARC utilisés chez les adultes et enfants de plus de 6 ans :

- Cariogram (44),
- CAMBRA (45,46),
- Pyramide des risques de caries (CRP pour Caries Risk Pyramid) (47),
- Système de l'American Dental Association (ADA) (48),
- Outil d'évaluation du risque de carie (CAT) de l'American Academy of Pediatric Dentistry (AAPD) (49).

Ces modèles d'ARC font appel aux mêmes critères mais ils peuvent les regrouper de manière différente, la terminologie peut différer d'un système à l'autre et la catégorisation du risque peut varier sensiblement d'un protocole à l'autre.

En termes de pratique, pour qu'un modèle d'ARC fonctionne au sein d'une équipe, il faut que tous les acteurs s'étalonent les uns par rapports aux autres afin que les

niveaux de risque obtenus soient significatifs pour toute l'équipe et le patient. Ceci peut se faire au travers de scénarios cliniques test et de discussion de groupe, et tout changement futur doit être documenté dans le temps.

Le deuxième facteur clé, en plus du niveau de risque global, est l'identification spécifique des facteurs individuels pathologiques, protecteurs et de susceptibilité. Ces facteurs individuels permettent de planifier des stratégies préventives personnalisées et adaptées aux besoins et à la capacité d'observance du patient. Un plan de soins préventifs personnalisé a l'avantage de contrebalancer les facteurs pathologiques individuels en renforçant les facteurs protecteurs (50). Des protocoles et des formulaires structurés peuvent aider à l'évaluation systématique de ces multiples facteurs de susceptibilité aux caries dans la pratique, et contribuer à une planification appropriée des soins ainsi qu'à une tenue objective des dossiers (51,52).

4.1.2. CAMBRA : caries management by risk assessment

Le concept CAMBRA a été développée en Californie entre 2003 et 2007 à la suite de deux conférences consensus (45,46) où se sont réunis la plupart des représentant des écoles dentaires de Californie et de plusieurs autres écoles des États-Unis. Les textes rédigés lors de ces conférences sont disponibles à l'adresse <http://www.cdafoundation.org/education/resources-library>.

Ce concept permet une évaluation systématisée du risque carieux individuel au travers d'une méthodologie prédéfinie :

- Recueil des antécédents dentaires et médicaux,
- Examen clinique,
- Détection précoce des lésions carieuses pour inverser ou prévenir leur progression,
- Évaluation du risque carieux (faible, modéré, élevé ou extrême) grâce aux informations précédemment recueillies et grâce à un court questionnaire,
- Élaboration du plan de traitement comprenant une thérapie chimique adaptée au niveau de risque carieux,
- Utilisation d'une thérapie chimique comprenant du fluorure et/ou des agents antibactériens en fonction du niveau de risque,
- Utilisation des procédures de restauration peu invasives pour conserver la structure et la fonction des dents,
- Rappel et révision à des intervalles appropriés au statu du risque carieux,
- Réévaluation du niveau de risque carieux lors du rappel et modification du plan de traitement si nécessaire.

Bien que mieux systématisée par ce concept, la phase d'évaluation du risque carieux ne peut en aucun cas reposer sur une formule mathématique. Il s'agit plutôt d'un jugement basé sur l'équilibre probable entre les indicateurs et les facteurs identifiés dans le formulaire d'évaluation du risque (*Figure 10*) et illustré visuellement dans la *Figure 11*.

La détermination du statut de risque élevé est assez claire, mais la décision de placer un patient dans la catégorie de risque modéré plus complexe et peut différer d'un praticien à l'autre. Dans ces cas, il sera préférable d'opter pour la prudence et de placer un patient dans la catégorie supérieure en cas de doute (c'est systématiquement le cas en France puisque le risque modéré est incorporé au risque élevé). Enfin concernant le statut de risque extrême, il concerne les patients catégorisés comme à haut risque mais présentant en plus une hypofonction sévère des glandes salivaires.

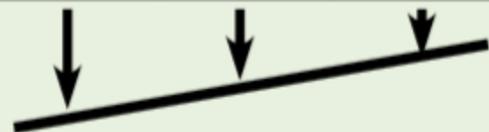
Caries Risk Assessment Form — Children Age 6 and Over/Adults

Patient Name: _____ Chart # _____ Date: _____

Assessment Date: Is this (please circle) base line or recall

Disease Indicators (Any one "YES" signifies likely "High Risk" and to do a bacteria test**)	YES = CIRCLE	YES = CIRCLE	YES = CIRCLE
Visible cavities or radiographic penetration of the dentin	YES		
Radiographic approximal enamel lesions (not in dentin)	YES		
White spots on smooth surfaces	YES		
Restorations last 3 years	YES		
Risk Factors (Biological predisposing factors)			
MS and LB both medium or high (by culture**)		YES	
Visible heavy plaque on teeth		YES	
Frequent snack (> 3x daily between meals)		YES	
Deep pits and fissures		YES	
Recreational drug use		YES	
Inadequate saliva flow by observation or measurement (**If measured, note the flow rate below)		YES	
Saliva reducing factors (medications/radiation/systemic)		YES	
Exposed roots		YES	
Orthodontic appliances		YES	
Protective Factors			
Lives/work/school fluoridated community			YES
Fluoride toothpaste at least once daily			YES
Fluoride toothpaste at least 2x daily			YES
Fluoride mouthrinse (0.05% NaF) daily			YES
5,000 ppm F fluoride toothpaste daily			YES
Fluoride varnish in last 6 months			YES
Office F topical in last 6 months			YES
Chlorhexidine prescribed/used one week each of last 6 months			YES
Xylitol gum/lozenges 4x daily last 6 months			YES
Calcium and phosphate paste during last 6 months			YES
Adequate saliva flow (> 1 ml/min stimulated)			YES
**Bacteria/Saliva Test Results: MS: LB: Flow Rate: ml/min. Date:			

VISUALIZE CARIES BALANCE
 (Use circled indicators/factors above)
 (EXTREME RISK = HIGH RISK + SEVERE SALIVARY GLAND HYPOFUNCTION)
 CARIES RISK ASSESSMENT (CIRCLE): EXTREME HIGH MODERATE LOW



Doctor signature/# _____ Date: _____

Figure 10 : formulaire d'évaluation du risque pour les adultes et les enfants âgés de 6 ans et plus (46).

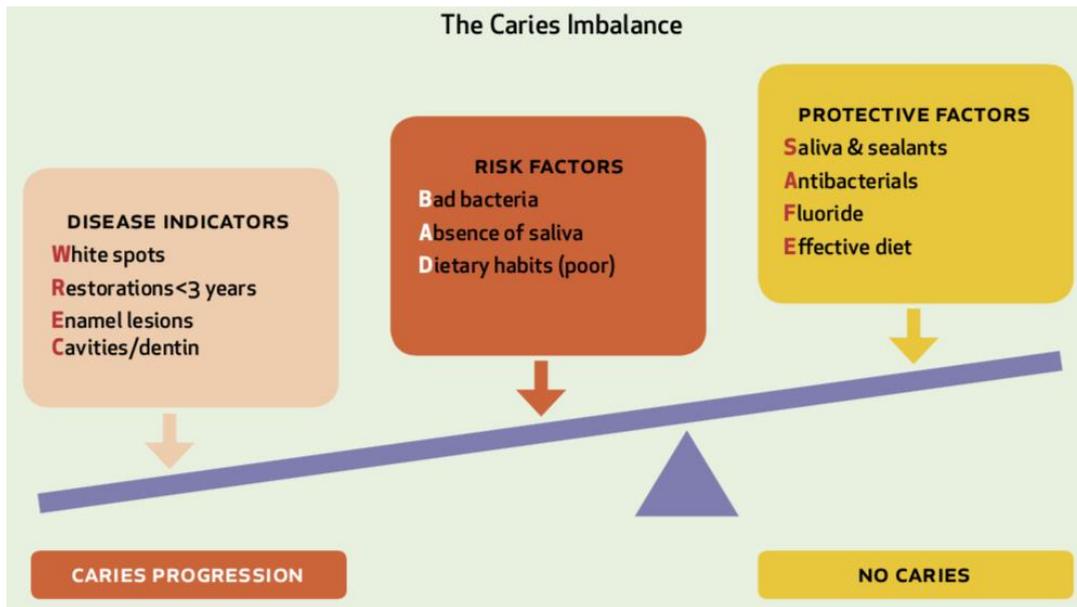


Figure 11 : « Le déséquilibre de la carie ». L'équilibre entre les indicateurs de la maladie, les facteurs de risque et les facteurs de protection détermine si la carie dentaire progresse, s'arrête ou s'inverse (46).

Les **indicateurs de la maladie** carieuse sont des observations cliniques qui renseignent sur l'histoire et l'activité carieuse actuelle et passée. Ce sont donc des indicateurs ou des signes cliniques de la présence d'une maladie ou de l'existence d'une activité carieuse récente :

- Cavitation franche ou lésions montrant radiographiquement une atteinte dentinaire,
- Lésions radiographiques de l'émail sans atteinte dentinaire,
- Taches blanches sur des surfaces lisses,
- Toute restauration placée au cours des trois dernières années.

Ces quatre indicateurs sont des éléments de forte probabilité de caries futures ou de progression des lésions existantes. Une réponse positive à l'un d'entre eux place donc automatiquement le patient dans la catégorie à haut risque carieux, à moins qu'une intervention thérapeutique soit déjà en place pour modifier le risque.

Les **facteurs de risque** carieux sont des facteurs biologiques qui contribuent au niveau de risque pour le patient d'avoir de nouvelles lésions carieuses à l'avenir ou de voir les lésions existantes progresser. Ce sont les raisons qui ont causé ou contribué à la maladie carieuse, ou qui contribueront à sa manifestation future, et ils sont donc modifiables. Ils sont au nombre de neuf :

- Numération moyenne ou élevée en *Streptococcus mutans* et *Lactobacillus acidophilus*,
- Plaque dentaire épaisse visible à l'œil nu,
- Grignottage fréquent entre les repas,
- Fosses et sillons anfractueux,
- Usage de drogues récréatives,
- Débit salivaire insuffisant (observation ou mesure),
- Facteur réduisant la quantité de salive (médicaments, radiations),
- Racines exposées,
- Appareils orthodontiques.

En l'absence d'indicateur positif de la maladie carieuse, c'est la somme de ces 9 facteurs qui devient déterminante pour l'évaluation du risque carieux, à moins qu'elle ne soit compensée par des facteurs de protection.

Les **facteurs de protection** sont des facteurs ou des mesures biologiques ou thérapeutiques qui peuvent collectivement compenser les facteurs de risque énumérés plus haut et réduire le risque carieux. Plus les facteurs de risque sont graves, plus les facteurs de protection devront être nombreux pour maintenir l'équilibre du patient ou inverser le processus carieux.

La liste des facteurs de protection est susceptible d'évoluer avec le temps et les efforts des industriels de la santé en concomitance avec les découvertes scientifiques, mais elle dénombre actuellement 11 facteurs :

- Vie-travail-école au sein d'une communauté « fluorée »,
- Une utilisation quotidienne de dentifrice fluoré,
- Deux utilisations quotidiennes de dentifrice fluoré,
- Utilisation quotidienne d'un bain de bouche fluoré,
- Utilisation d'un dentifrice fluoré à 5000 ppm par jour,
- Application d'un vernis fluoré au cours des 6 derniers mois,
- Traitement topique fluoré en cabinet au cours des six derniers mois,
- Chlorhexidine prescrite/utilisée quotidiennement 7 jours par mois pendant les 6 derniers mois,
- Gommages/glaces au xylitol 4 fois par jour au cours des 6 derniers mois,
- Supplémentation de calcium et phosphate en pâte au cours des 6 derniers mois,
- Flux salivaire adéquat.

Depuis adopté par l'ICCMS, le concept CAMBRA été mis à l'épreuve et perfectionné pendant plus de 15 ans. Grâce à son utilisation à grande échelle dans les écoles dentaires californiennes et à l'apport de plusieurs études, on peut aujourd'hui affirmer qu'il existe une relation claire entre les niveaux de risque et la gravité des lésions carieuses observées. De plus, il a été démontré que l'apport d'une thérapie chimique adjuvante aux soins restaurateurs conventionnels permettait, chez les patients à haut risque carieux, de réduire l'augmentation des caries de 20 à 38 % (3,32).

4.1.3. Application "MI dentistry CRA"

Cette application est téléchargeable depuis les terminaux portables de type IOS et Android. Elle permet d'évaluer simplement et d'une manière ludique le risque carieux individuel de nos patients. Les évaluations du risque sont basées sur le « MI Handbook », guide complet de la dentisterie mini-invasive, qui est intégralement disponible dans les menus de l'application.

En premier lieu, il faut choisir la catégorie d'âges dans laquelle se situe le patient, et l'application en propose 4 :

- 0 à 6 ans
- 6 à 14 ans
- Plus de 14 ans et adultes
- Personnes âgées, femmes enceintes et autres cas spécifiques.

Le praticien doit ensuite, avec l'aide du patient, répondre à un certain nombre de questions permettant de mettre en évidence les indicateurs, facteurs de risque et de protection de la maladie carieuse.

Concernant la catégorie > 14 ans et adultes les questions posées par l'application sont :

- Pratique d'un brossage dentaire biquotidien,
- Utilisation de produits fluorés (dentifrice et/ou bain de bouche),
- Utilisation d'un agent de reminéralisation autre que fluoré (comme le MI Paste Plus de GC),
- Exposition dentaire au xylitol (gommes à mâcher ou autres),
- Exposition à la chlorhexidine (bains de bouche),
- Consultation dentaire annuelle de contrôle et prévention,
- Scellement des puits et sillons (sealant)
- Alimentation saine et équilibrée, avec contrôle en quantité et fréquence de l'ingestion de sucres fermentescibles, boissons sucrées et aliments acides,
- Consommation de plus de 3 encas sucrés par jour entre les repas (solides ou liquides),
- Existence d'un environnement buccal acide (reflux, anorexie, boulimie),
- Existence d'une maladie systémique affectant l'environnement buccal,
- Statut socioéconomique bas
- Présence d'un appareillage orthodontique,
- Existence de restaurations dentaires prothétiques étendues (fixes ou amovibles),
- pH salivaire bas,
- Diminution de la quantité de salive,
- Présence de plaque visible à l'œil nu, ancienne ou acide,
- Numération salivaire élevée en *S. mutans* et/ou *Lactobacilles*,
- Lésions carieuses actives de type taches blanches (white spot),
- Anomalie de développement de l'émail
- Présence d'au moins une lésion carieuse, dent extraite ou restaurée dans les 24 derniers mois,
- Présence de lésion(s) carieuse(s) proximale(s) visible(s) en Bitewing,
- Au moins une lésion carieuse active radiculaire,
- Présence de restaurations défailtantes iatrogènes,

A la suite de toutes ces questions l'application détermine le risque carieux du patient et nous donne une synthèse des points importants concernant les principaux facteurs de risque et facteurs protecteurs retrouvés chez le patient.

Un rapport PDF peut être téléchargé pour le dossier voire imprimé pour améliorer la communication avec le patient. Ce rapport comporte la catégorisation du risque carieux ainsi qu'un tableau contenant les 24 questions et leurs réponses pour mieux mettre en évidence les leviers d'action.

Caries risk assessment

MI Identify : MI ACTIVE CARE 14 and older

You are not at high risk of caries

The following table summarizes the caries risk assessment:

Item	Answer
Twice a day tooth brushing ?	Yes
Fluoride exposure (toothpaste/mouthwash) ?	Yes
Exposure to remineralisation agent (besides fluoride such as CPP-ACP) ?	No
Xylitol exposure ?	No
Chlorhexidine exposure ?	Yes
Regular preventive oral care ?	Yes
Fissure protection/ fluoride varnish ?	No
Healthy balanced diet ?	Yes
> 3 snacks between meals ?	No
Acidic environment (reflux, anorexia, bulimia) ?	Yes
Systemic diseases affecting oral environment ?	No
Low socioeconomic status ?	No
Orthodontic appliances ?	No
Extensive prosthodontic therapy, removable or fixed dentures ?	No
Low salivary pH ?	No
Low salivary flow ?	No
Visible/old/acidic plaque ?	No
High S. mutans and/or Lactobacillus count ?	No
Active white spot lesion(s) ?	No
Developmental enamel defect(s) ?	No
≥ 1 new/progressing/missing/restored lesion(s) in the last 24 months ?	No
Approximal carious lesions (bitewings) ?	No
Active root surface caries ?	No
Defective restorations ?	No

Figure 12 : exemple du rapport d'analyse de mon propre risque carieux issu de l'application MI dentistry CRA.

4.2. Activité carieuse de la dentine ou de l'émail

L'appréciation de l'activité carieuse des lésions doit être systématiquement recherchée car elle va conditionner notre évaluation du risque carieux, et surtout la technique de restauration à mettre en place. En effet lors d'une lésion inactive, le substrat dentaire est dur et minéralisé, et le matériau de restauration importera moins que la technique mise en place. Par contre pour une lésion active, les tissus dentaires sont mous et déminéralisés donc il faudra choisir un matériau de restauration capable d'adhérer au substrat ramolli comme un CVI ou certains composites.

Pour la FDI (Fédération Dentaire Internationale), ce qui va différencier une lésion carieuse active d'une lésion inactive sera l'existence d'une perte minérale nette sur une période donnée :

→ Lésion active : lésion carieuse présentant une perte minérale nette sur une période donnée, ce qui témoigne d'une progression de la lésion.

→ Lésion inactive : lésion carieuse ne présentant pas de perte minérale nette sur une période donnée, ce qui témoigne de l'absence de progression de la lésion.

Concrètement, il serait très complexe de pouvoir apprécier l'existence d'une perte minérale nette sur une période donnée. Ce qui va donc primer en pratique c'est l'aspect clinique de la lésion, qui va nous donner des informations en fonction de la texture et de la couleur des tissus dentaires cariés.

Pour l'émail, lors d'une lésion active on aura un émail mou, blanc crayeux et opaque. Tandis que pour une lésion inactive on aura un émail dur, lisse, et souvent un peu marron.

Pour la dentine, lors d'une lésion inactive on retrouvera plutôt une dentine dure, marron/noire. Tandis que pour une lésion active, la dentine sera molle et plutôt jaune/orange.

Dans la réalité clinique, l'appréciation de l'activité carieuse de certaines lésions « au miroir » peut s'avérer difficile et être une source d'erreur dans les choix thérapeutiques qui en découlent. Comme il ne peut exister de dentisterie mini-invasive sans un diagnostic précoce et correct, l'utilisation d'aides au diagnostic s'avère aujourd'hui indispensable dans la pratique d'une dentisterie moderne. Ces aides peuvent permettre d'évaluer plus précisément l'étendue ainsi que l'activité des lésions. Parmi les aides au diagnostic, celles qui peuvent aider à l'évaluation de l'activité carieuse sont :

- Les **aides visuelles** grossissantes telles que les loupes, le microscope ou les camera intrabuccales comme la Soprocare®,
- La **fluorescence** qui permet de mettre en évidence la présence de collagène (vert) ou de la réaction de Maillard (rouge), et donc de différencier les différents niveaux d'atteinte carieuse et l'activité de la lésion. Elle est encore plus efficace si elle est couplée à un grossissement et on la retrouve souvent sur les microscopes ou caméras.

En lumière fluorescente, les différentes couleurs amélaire et dentinaire recherchées pour déterminer l'activité carieuse seront différentes de celles citées plus haut.

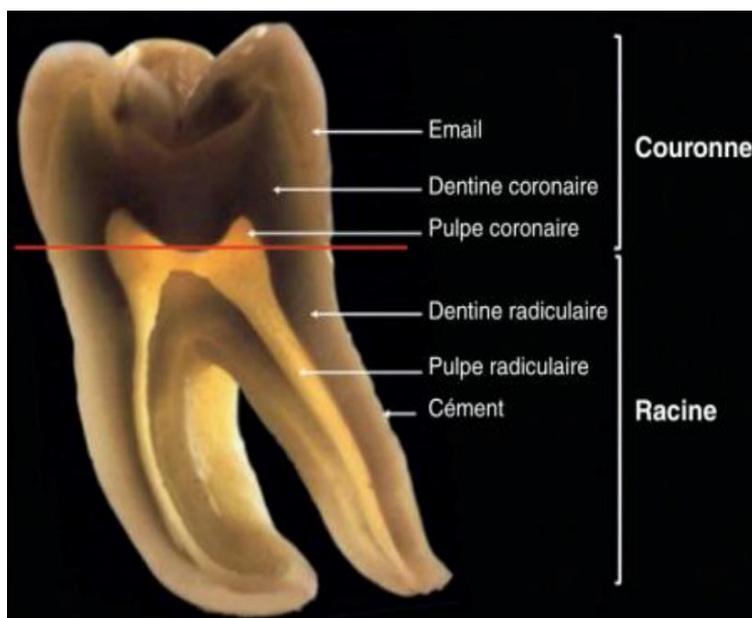
Pour l'émail, lors d'une lésion active la structure amélaire perturbée diffracte la lumière et l'émail apparaît blanc/bleuté, granuleux et mat.

Pour la dentine, lors d'une lésion active la dentine nécrotique apparaît en vert foncé, la dentine infectée rouge vif voire foncé, et la dentine affectée par le front acide apparaît rouge/orangé tandis que la dentine saine apparaît en vert très vif. La dentine sclérotique semblera d'un vert un peu plus foncé que la dentine saine. Lors d'une lésion inactive, on pourra observer une coloration plutôt noirâtre des tissus avec de légères teintes rouges et vertes.



Figure 13: illustration d'une lésion carieuse active et de deux inactives sous lumière fluorescente (source : Dr H. Tassery).

4.3. Présence ou non d'émail cervical



Anatomiquement, la dent est composée de deux parties distinctes : la couronne, recouverte d'émail et la/les racine(s) recouverte(s) de cément. La jonction amélo-cémentaire (JAC) sépare ces deux parties et constitue le collet de la dent.

Histologiquement, l'organe dentaire est constitué de dentine, d'émail, de pulpe et de cément. L'émail et la dentine, principalement inorganiques et calcifiés, entourent le tissu pulpaire non calcifié qui contient les structures vasculaires et nerveuses.

Figure 14: coupe sagittale d'une molaire légendée avec les différents tissus dentaires (53).

Comme l'illustre la *figure 14*, le type de tissus dentaire et son épaisseur ne seront pas les mêmes en fonction de la localisation d'une lésion carieuse puisque l'émail s'affine progressivement à l'approche de la JAC pour disparaître au profit du cément dans la partie radiculaire. L'épaisseur de l'émail est maximale au niveau des bords incisifs et sommets cuspidiens et atteint par exemple 2,5 mm à l'aplomb des cuspidés de molaires permanentes (53). Cette épaisseur diminue ensuite progressivement en direction du collet pour finir par une lame de quelques microns au niveau de la JAC.

DENT	SITE	ÉPAISSEUR MOYENNE	ÉPAISSEUR MINIMALE	ÉPAISSEUR MAXIMALE
1^{ERE} PREMOLAIRES	M	0,99	0,49	1,65
	D	1,07	0,54	1,49
2^{EME} PREMOLAIRES	M	1,19	0,61	1,63
	D	1,22	0,60	1,78
1^{ERE} MOLAIRES	M	1,28	0,74	1,87
	D	1,40	0,70	2,17
2^{EME} MOLAIRES	M	1,29	0,94	1,84
	D	1,48	0,95	2,33
TOTAL	M	4,67	3,64	6,56
	D	5,11	3,74	6,41

Figure 15: tableau des épaisseurs d'émail en mm (M = mésial et D = distal) pour les dents mandibulaires postérieures (54).

Les données moyennes et fiables concernant l'épaisseur de l'émail interproximal sont moins nombreuses que pour les faces linguales/palatines, occlusales ou vestibulaires. Cependant quelques études de qualité permettent de faire ressortir quelques tendances (55):

- L'épaisseur de l'émail peut varier d'une population à l'autre (patrimoine génétique), mais aussi d'un individu à l'autre
- Cette épaisseur peut aussi varier d'une dent à l'autre au sein d'une même bouche puisque l'on constate que l'émail semble devenir plus épais en allant vers le fond de la cavité buccale
- Sur une même dent, l'épaisseur de l'émail varie en fonction de la face considérée puisque l'épaisseur moyenne de l'émail distal est toujours un peu plus grande que l'épaisseur moyenne de l'émail mésial

En fonction des limites périphériques d'une lésion carieuse données, ces différentes épaisseurs d'émail disponible seront donc à prendre en considération. En effet, la qualité et l'épaisseur du substrat disponible participent au choix thérapeutique concernant le matériau de restauration à employer car leurs différences en termes de composition chimique n'impliquent pas les mêmes mécanismes d'adhésion et donc pas les mêmes résultats en termes de qualité et de longévité d'une restauration.

Concernant l'émail, c'est une substance acellulaire et hautement minéralisée qui est la substance la plus dure que l'organisme humain produit. Il est constitué à 95 % d'une partie minérale comprenant essentiellement de l'hydroxyapatite de calcium, à 1 % d'une phase organique (protéines, protéoglycane, lipides, citrates) et à 4 % d'eau.

Concernant la dentine, c'est un tissu jaunâtre et dur composé de 50 % d'hydroxyapatite, de 27 % de protéines et de 23 % de fluides, et ces différents éléments s'organisent sous la forme de canalicules. Les odontoblastes sont des cellules hautement différenciées qui sont responsables de l'élaboration de la dentine. Leurs corps cellulaires sont disposés en palissade à la périphérie pulpaire et leurs prolongements cytoplasmiques s'étendant à l'intérieur des canalicules dentinaires.

Rappels sur le mécanisme d'adhésion des résines composites :

Les résines composites traditionnelles destinées à la restauration de lésions carieuses sont majoritairement hydrophobes et n'ont pas de potentiel adhésif propre. Pour cette raison, elles doivent être utilisées en association avec un acide permettant de déminéraliser le substrat dentaire et un système adhésif permettant de créer une interface entre la résine hydrophobe et le substrat dentaire hydrophile (M&R3, M&R2, SAM2, SAM1).

→ Au niveau de l'émail, l'acide crée des anfractuosités microscopiques en contre-dépouilles dans lesquelles la résine non polymérisée va s'infiltrer. Une fois polymérisée, la résine forme donc des micro-clavetages mécaniquement très rétentifs ; on parle d'adhésion micromécanique.

→ Au niveau dentinaire, la résine adhésive imprègne le réseau collagénique mis à nu par le mordantage acide. La résine se substitue donc à l'hydroxyapatite et s'ancre entre les fibres de collagène pour former une zone d'interdiffusion résine-dentine appelée couche hybride (composante micromécanique). De plus, la résine forme des prolongements dans la lumière des tubuli dentinaires ouverts par le mordantage acide appelés tags résineux (composante macromécanique). La principale composante en termes de force d'adhésion est la composante micromécanique.

Devant le grand nombre de systèmes adhésifs disponibles et leurs caractéristiques propres il est difficile de donner une valeur moyenne concernant leur force d'adhésion. Cette force va dépendre du système adhésif choisi, de la manière de l'utiliser (mordantage partiel ou total, automordantage), de la dextérité du praticien, et du type de substrat dentaire.

Concernant la force d'adhésion des systèmes adhésifs au niveau dentinaire (résistance au cisaillement), voici quelques exemples (56) :

- Scotchbond Multipurpose (3M ESPE)	30,3 +/- 9,4 MPa
- Optibond FL (Kerr)	22,4 +/- 4,3 MPa
- Scotchbond 1 (3M ESPE)	18,9 +/- 3,2 MPa
- Clearfil Liner Bond 2 V (Kuraray)	18,9 +/- 3,0 MPa
- Prime and Bond NT (Dentsply)	18,3 +/- 6,9 MPa
- Excite (Ivoclar Vivadent)	13,8 +/- 3,7 MPa
- Prompt L-Pop (3M ESPE)	9,1 +/- 3,3 MPa

Au niveau amélaire, les forces d'adhésion des systèmes adhésifs sont plus élevées et moins opératoire dépendant puisque le taux d'humidité sera moins important que pour un collage sur la dentine (pas de risque de collapser les fibres de collagène) ; l'élimination ou pas de la boue dentinaire ne rentrera pas en compte non plus. Elle se situe autour de 43 +/- 8 MPa (57).

Outre leur moindre force d'adhésion sur la dentine par rapport à l'émail, et leur plus grande dépendance à leur technique de mise en œuvre, le collage des résines composites sur la dentine peut aussi présenter un problème de longévité dû à certains phénomènes comme :

- L'hydrolyse de la couche hybride
- L'absorption d'eau
- Défaut d'encapsulation des fibres de collagène par sur-mordantage
- Activité collagénolytique intrinsèque par les enzymes bactériennes

L'utilisation des résines composites pour la restauration de lésions carieuses devra donc être discutée en fonction de la présence ou non d'émail périphérique de qualité, et en fonction des modalités d'accès et des possibilités en termes d'isolation de la lésion (contrôle précis de l'humidité).

Rappels sur le mécanisme d'adhésion des CVI :

Les CVI sont des biomatériaux auto-adhérents, c'est à dire qu'ils ne nécessitent pas l'application d'un système adhésif avant leur mise en place ; cela dit l'application d'un système adhésif peut être optionnelles comme pour les CVIMAR.

Lors de la réaction de prise d'un CVI conventionnel, on observe la formation de liaisons chimiques avec une interaction ionique entre les charges négatives des groupements carboxyles de l'acide polyalkénoïque avec les charges positives des ions calcium de l'hydroxyapatite des tissus dentaires. Se forme alors une zone d'interdiffusion ionique (zone de double échange), où l'acide polyacrylique est absorbé à la surface et des groupements phosphates sont déplacés de l'hydroxyapatite vers cette zone (58,59).

La force d'adhésion à l'interface étant en général plus élevée que la force cohésive du CVI, on observera donc en cas de tensions excessives des fractures du matériau plutôt que des décollements. Pour obtenir une bonne valeur d'adhésion des CVI, la dentine doit être humide mais isolée de la salive durant la prise du matériau.

Substrat dentaire	Fuji XI (GC)	Ketac Molar Easymix (3M ESPE)	Maxxion (Maxxion Systems)
Email	5,9	6,4	4,2
Dentine	6,0	7,6	4,9

Figure 16 : tableau des résistances au cisaillement (en MPa) de 3 CVI appliqués sur la dentine ou sur l'émail (60).

Les exemples de la *Figure 16* illustrent le fait que l'adhésion d'un CVI à la dentine est meilleure que sur l'émail, mais aussi que ces valeurs restent faibles par rapport à l'adhésion dentinaire d'une résine composite appliquée dans des conditions optimales. Cependant pour améliorer l'adhésion dentinaire des CVI, il est recommandé d'appliquer au préalable un conditionnement dentinaire (« dentin conditionner ») à base d'acide polyacrylique afin d'établir une force d'adhésion à la dentine plus comparable à celle des résines composites.

Ainsi, grâce à l'utilisation préalable d'un conditionneur dentinaire, l'adhésion des CVI repose à la fois sur les liaisons chimiques décrites ci-dessus et sur des liaisons micromécaniques (composante mineure). Le conditionneur permet de nettoyer les

tissus dentaires, d'éliminer la boue dentinaire et d'exposer les fibres de collagène sur une profondeur de 0,5 à 1 µm. Le CVI peut alors diffuser entre les fibres de collagène et on obtiendra alors la formation d'une « couche hybride » similaire en certains aspects à celle des résines composites (59), mais les liaisons chimiques seront ici un avantage pour la résistance à la dégradation hydrolytique.

Dans des conditions optimales de manipulation, l'adaptation des CVI traditionnels est quasi parfaite avec des valeurs de hiatus très faibles. En dépit des valeurs d'adhésion modestes, ces matériaux ont un taux de rétention élevé grâce à leur faible contraction de prise et à leur coefficient d'expansion thermique voisin de celui de la dentine.

4.4. Règles d'applications cliniques pour les lésions cavitaires

4.4.1. Lésions carieuses occlusales

Pour les lésions occlusales, étant donné que toute la limite périphérique de la lésion est constituée d'émail, les critères de décision clinique sont réduits à 3 points :

- Le niveau de risque carieux individuel (RCI élevé ou bas)
- L'activité carieuse de la lésion
- L'étendue de la lésion carieuse (modérée ou extensive)

→ **Pour les lésions occlusales modérées :**

- Éviction carieuse jusqu'à la dentine ferme ou coriace (2,61)
- **RCI élevé** : l'emploi d'un biomatériau à relargage d'ion (**BRI**) est recommandé
 - CVI conventionnel
 - CVI conventionnel fluide (flow) à fort relargage de fluor en tant que restauration provisoire
 - CVI-HV auto ou photopolymérisable (62)
 - Résine composite alcasite enrichie en minéraux (considéré comme bioactif malgré un manque d'étude) (63)
- **RCI bas + lésion carieuse active** : **BRI recommandé comme substitut dentinaire**
 - Option 1 : CVIMAR + conditionneur dentinaire
 - Option 2 : CVIMAR ou résine composite enrichie en minéraux + adhésif universel (mordançage sélectif de 5s) pour améliorer les performances d'adhésion (64)
 - Option 3 : CVI-HV auto ou photopolymérisable + conditionneur dentinaire
 - Option 4 : si le fond de la cavité est à distance de la pulpe, une restauration traditionnelle avec un composite classique peut être choisie
- **RCI bas + lésion carieuse inactive** : **toutes les techniques** de restauration peuvent choisies en fonction de la préférence du praticien.

→ **Pour les lésions carieuses occlusales extensives et actives :**

- **RCI élevé :**
 - CVI-HV auto ou photopolymérisable (associé ou non avec application préalable de SDF)
 - Matériau de type **silicates de calcium**
- **RCI bas + lésion carieuse active : BRI recommandé comme substitut dentinaire**
 - *En cas de proximité pulpaire, envisager l'application d'un liner bioactif tel qu'un silicate de calcium (65,66)*
- **RCI bas + lésion carieuse inactive : toutes les techniques** de restauration peuvent être choisies en fonction de la préférence du praticien.

4.4.2. Lésions carieuses proximales

Pour les lésions carieuses proximales, les critères de décision clinique seront similaires à ceux des lésions carieuses occlusales à ceci près que la notion de taille de la lésion sera plus rapportée ici à la notion de présence ou non d'émail périphérique. Ces critères sont donc :

- Le niveau de RCI
- L'activité carieuse de la lésion
- La présence ou non d'émail sain et donc collable en périphérie de la lésion et surtout au niveau de la limite gingivale.

→ **Pour les lésions proximales modérées AVEC émail collable :**

- **RCI élevé :** l'emploi d'un biomatériau à relargage d'ion (**BRI**) est recommandé
 - CVI conventionnel
 - CVI conventionnel fluide (flow) à fort relargage de fluor en tant que restauration provisoire
 - CVI-HV auto ou photopolymérisable (62)
 - Résine composite alkasite enrichie en minéraux (considéré comme bioactif malgré un manque d'étude) (63)
- **RCI bas :**
 - Option 1 : en présence d'une cavité Slot ou Tunnel, l'utilisation d'un **BRI** devrait être systématique aussi bien pour les lésions actives qu'inactives. Préférer plutôt un CVIMAR ou CVI-HV photopolymérisable qui offrent un temps de prise plus long et sont plus simple à éliminer en cas d'excès. L'accès occlusal de la cavité Tunnel devrait préférentiellement être recouvert par une résine composite conventionnelle après application d'un adhésif.
 - Option 2 : en présence d'une lésion carieuse inactive et d'une cavité conventionnelle, **toutes les techniques** peuvent être choisies. Mais en

présence d'une lésion active, l'utilisation d'un BRI comme substitut dentinaire peut être recommandée en fonction de l'épaisseur de dentine résiduelle.

→ **Pour les lésions proximales extensives AVEC émail collable :**

- **RCI élevé :**
 - CVI-HV auto ou photopolymérisable (associé ou non avec application préalable de SDF)
 - Matériau de type **silicates de calcium**
- **RCI bas + lésion carieuse active : BRI recommandé comme substitut dentinaire**
 - *En cas de proximité pulpaire, envisager l'application d'un liner bioactif tel qu'un silicate de calcium (65,66)*
- **RCI bas + lésion carieuse inactive : toutes les techniques** de restauration peuvent être choisies en fonction de la préférence du praticien.

→ **Pour les lésions proximales extensives SANS émail collable :**

- **RCI élevé :** l'emploi d'un biomatériau à relargage d'ion (BRI) **est recommandé**. Préférer un CVI-HV (auto ou photopolymérisable) pour soutenir les contraintes de la cavité ou appliquer un matériau à base de silicates de calcium en cas de proximité pulpaire (62,63).
- **RCI bas : BRI recommandé comme substitut dentinaire** pour les lésions actives comme inactives (12)
 - Option 1 : CVIMAR, CVI-HV (auto ou photo) ou résine composite enrichie en minéraux
 - Option 2 : résine composite alkasite enrichie en minéraux ou résine composite auto-adhésive enrichie en minéraux (matériaux récents donc manque de preuves)
 - Option 3 : matériau à base de silicates de calcium ou MTAMAR

5. Limites de ces matériaux

Si certains matériaux comme les CVI conventionnels, les CVIMAR et les silicates de calcium peuvent aujourd'hui revendiquer un certain recul quant à leur utilisation, il reste néanmoins vrai que les matériaux bioactifs cités dans la partie 3 sont tous plus récents que les résines composites traditionnelles et que nous avons donc **moins de recul** et de données clinique sur leur utilisation à long terme et ceci est d'autant plus vrai pour les matériaux les plus récents.

Par ailleurs, certains matériaux comme les résines composites enrichies en minéraux (Activa ou Presto de Pulpdent, Re-Gen d'Apex), les résines composites à potentiel auto-adhésif enrichies en minéraux (Surfil 1 de Dentsply) ou les résines composites

alkasites enrichies en minéraux (Cention N de Ivoclar-Vivadent) présentent encore aujourd'hui un **manque de preuves scientifiques** issues d'études et un manque de données cliniques (63).

Rappels des inconvénients des matériaux bioactifs :

- **CVI polyakénoates conventionnels :**
 - Faible résistance à l'usure
 - Réaction de prise longue
 - Inesthétiques
- **CVI-HV et CVI hybrides :**
 - Réaction de prise très courte
 - Viscosité élevée
- **CVIMAR et CVIMAR-HV :**
 - Pas de vraie propriété d'obturation en bloc
 - Pas de liaison covalente ou ionique entre les deux réseaux
 - Absorption d'eau due à l'Hema résiduel
 - Faible résistance à l'usure pour les CVIMAR
- **Résines composites enrichies en minéraux :**
 - Manque de recul clinique
 - Manque d'études
- **Résines composites à potentiel auto-adhésif enrichies en minéraux :**
 - Réaction de prise courte
 - Très haute viscosité
 - Manque de recul clinique
 - Manque d'études
- **Giomers :**
 - Performances cliniques comparable aux résines composites traditionnelles donc mêmes indications et limites
- **Résines composites alkasites enrichies en minéraux :**
 - Réaction de prise courte
 - Très haute viscosité
 - Manque de recul clinique
 - Manque d'études
- **Silicates de calcium :**
 - Temps de prise très long
 - Utilisation seulement en tant que liner ou restauration provisoire
- **MTAMAR :**
 - Potentiel cytotoxique des monomères de résine proches de la pulpe
- **Adhésif résine modifié par ajout de verre ionomère :**
 - Peu d'études
 - Manque de donnée cliniques
- **Adhésif avec chlorhexidine :**
 - Effets très limités dans le temps

Outre le faible recul et le manque de preuve pour certains matériaux, une autre limite des matériaux bioactif concerne pour certains d'entre eux la présence même d'une phase résineuse. En effet, on sait que dans les matériaux contenant des monomères de résine, la polymérisation de la phase résineuse n'est jamais complète à 100 % et qu'il reste donc toujours un certain nombre de monomères de résine non polymérisés. L'utilisation de ces matériaux à proximité de la pulpe constitue donc un risque lié au **potentiel cytotoxique** des monomères de résines qui peuvent diffuser à travers la dentine résiduelle pour atteindre la pulpe et ainsi favoriser la nécrose de celle-ci (65). De plus, pour que le taux de conversion de la résine soit maximal, les apports doivent

être de 2 mm au maximum et ces matériaux n'ont donc pas de vraie propriété de remplissage en bloc.

Pour les CVIMAR, la présence d'une phase résine pose en plus un autre problème que la cytotoxicité des monomères car même si la réaction de polymérisation de la résine coexiste avec la réaction acide-base du CVI, ces deux réactions se font concurrence. Dès que la polymérisation de la résine est initiée, la réaction acide-base du CVI est limitée. De même, la réaction de polymérisation est impactée par la réaction acide-base, et les monomères HEMA n'ayant pas réagi provoquent une plus grande absorption d'eau du fait de leur hydrophilie. Ceci augmente donc la sensibilité des CVIMAR à l'**hydrolyse**. En outre, du fait de la présence d'une matrice de résine limitant les échanges avec le milieu, les CVIMAR semblent libérer moins d'ions que les CVI sans résine (63).

La dernière limite concernant le groupe des CVI était historiquement leur **faible résistance à l'usure** et à la compression entraînant des échecs de restaurations. Ce point a depuis été significativement amélioré avec les nouveaux types de CVI (HV, MAR, hybrides) qui présentent une plus grande résistance comparable à celle des composites, à fortiori s'ils sont protégés par une résine de glaçage (comme GC Coat).

Concernant les giomers, leur résistance mécanique semble comparable aux composites traditionnels mais ils présentent l'avantage d'un relargage d'ions fluor et sont donc théoriquement capables de reminéraliser l'interface. Toutefois ce relargage d'ions est très inférieur à celui d'un CVI-HV ou CVIMAR, et il n'existe pas de pic de relargage au moment de leur mise en place. De plus, les giomers nécessitent l'utilisation d'un système adhésif et ceci peut constituer un frein à la diffusion ionique et donc à la reminéralisation. Leur intérêt est donc aujourd'hui discuté, et certaines études suggèrent que leur taux d'échec à long terme sera supérieur à celui des composites traditionnels (67). Ces matériaux ont donc des indications limitées à des restaurations cervicales, occlusales ou en pédodontie.

Pour les **résines composites enrichies en minéraux** (Activa), une compétition entre les deux types de réactions évoquée pour les CVIMAR peut être suspectée. En termes de résistance mécanique, les évaluations initiales semblent montrer une résistance équivalente à celle d'un composite hybride et donc supérieure aux CVIMAR ou CVI-HV(68,69). La libération de fluor semble être comparable aux giomers et donc inférieure à celle des CVIMAR et CVI-HV, sans pic de libération initiale mais avec la capacité d'être rechargée (70). Devant le manque de preuves, il n'est aujourd'hui pas possible d'attester du pouvoir de reminéralisation de ces matériaux et leur statut de matériaux bioactif n'est donc pour le moment pas certain (71).

Le **Cention N** (résine composite alcasite enrichie en minéraux), une fois placé dans l'environnement buccal, semble libérer plus d'ions fluor que les giomers ou l'Activa. Une étude in vitro a rapporté que ce matériau était capable de former de l'apatite à sa surface et donc de reminéraliser la dentine sous-jacente lorsqu'il est utilisé sans application d'un adhésif (71). Le Cention N pourrait donc être considéré comme bioactif et serait ainsi le premier dérivé d'une résine composite à la bioactivité avérée. Cependant le fabricant précise que pour certaines indications (restaurations cervicales) ce matériau doit être utilisé en association avec un système adhésif et dans ce cas précis son pouvoir bioactif peut donc être remis en question. Aucune étude à

ce jour n'a pu examiner ses performances à grande échelle et à très long terme du fait de sa présence relativement récente sur le marché, mais les quelques études avec un recul de quelques mois à 1 ans semblent prometteuses (72,73).

Concernant le **Surfil 1** (résine composite auto-adhésive enrichie en minéraux), le fabricant précise que ce matériau est indiqué pour tous les types de restauration mais des études indépendantes sont nécessaires afin de confirmer cette affirmation. Ce matériau contient de l'eau et favorise théoriquement les échanges d'eau et d'ions (F, Al, Ca) avec le milieu buccal. Mais cette libération d'ions doit encore être étudiée ainsi que sa capacité réelle à provoquer une reminéralisation des tissus dentaires sous-jacents et on ne peut donc pas à ce jour attester de son statut bioactif ni même de ses performances à long terme.

Les matériaux de type **silicates de calcium et MTAMAR** sont indiqués en liner ou restaurations provisoires du fait de leur manque de résistance mécanique. De plus, les MTAMAR contiennent de la résine et ont donc un potentiel cytotoxique pour la pulpe.

Enfin, pour les **adhésifs**, ceux associés à la chlorhexidine ont montré un pouvoir d'inhibition des métalloprotéases (74,75) mais leur effet antibactérien reste très limité dans le temps. Pour le Riva Bond LC (résine adhésive modifiée par adjonction de verre ionomère), l'absence d'études indépendantes et de recul ne permet pas de se prononcer sur ce produit.

Outre les limites inhérentes à la composition des matériaux bioactifs énoncées si dessus, d'autres limites plus praticien-dépendantes peuvent être citées.

Tout d'abord les choix thérapeutiques de chaque praticien dépendent en grande partie de la formation initiale qu'il a reçu, mais aussi de sa formation continue. Car certains dogmes peuvent nécessiter de longues années avant d'évoluer à l'échelle de toute une profession. L'apparition relativement récente de ces matériaux bioactifs entraîne de facto un manque de données cliniques et donc de preuves, ainsi qu'un manque de notoriété pour les praticiens qui ne suivent pas particulièrement l'actualité scientifique et les nouveaux produits. De plus, les nouveaux matériaux sont souvent perfectibles et nécessitent un retour clinique afin d'en évaluer l'efficacité et d'en améliorer la formulation.

Le corolaire inhérent à tout changement de pratique est qu'il en résulte la plupart du temps une courbe d'apprentissage avec une période d'évaluation et d'adaptation.

Pour finir, d'autres protocoles ont été développés à l'aide de matériaux traditionnels dans le but de rendre la situation initiale plus favorable et d'assurer le succès des restaurations. C'est notamment le cas de la technique développée par le Dr Stefano Bottacchiari pour restaurer des cavités carieuses ou remplacer des restaurations iatrogènes en associant une chirurgie pré-prothétique parodontale à une restauration de type indirecte par un overlay/veneerlay en composite de laboratoire ou céramique (76). Ce protocole de soin implique une chirurgie parodontale résectrice d'élongation coronaire afin d'aménager un espace biologique de 2,5 mm entre l'os et la limite la plus apicale de la restauration. Cet espace biologique comprend 1 mm d'attachement gingival supra-crestal, 1 mm d'épithélium jonctionnel et 0,5 mm de sulcus. Cet aménagement pré-prothétique permet d'assurer une bonne santé locale du parodonte en présence de la restauration, et un accès aisé à l'hygiène puisque les limites de la

restauration deviennent alors supra-gingivales et l'éventuelle concavité proximale est effacée au maximum lors de la préparation.

Cette méthode pose cependant une question importante car la présence ou non d'émail cervical n'est pas abordée et l'on pourrait donc s'interroger sur la viabilité à long terme du joint de la restauration en présence de peu ou pas d'émail. Néanmoins, les résultats relatés par le Dr Bottacchiari sur plus de 2000 dents traitées, et avec un recul jusqu'à 6 ans, évoque de très bons résultats sans aucun cas de carie secondaire.

6. Cas cliniques

Toutes les photographies illustrant ces cas cliniques ont été fournies par le Pr Hervé Tassery et sont issues de sa pratique personnelle.

6.1. Madame X



Figure 17: photographie intrabuccale de 16 et 17 comportant chacune une ancienne restauration de type amalgame, avec suspicion de lésions carieuses sous-jacentes.

Mme X 37 ans, lors de son contrôle annuel, formule le souhait de remplacer ces deux amalgames présents en bouche depuis l'adolescence. Mme X ne présente aucune pathologie, traitement quotidien ou allergie. Ces deux amalgames sont les deux seules restaurations présentes en bouche, ils sont asymptomatiques, et l'examen clinique n'a pas révélé d'autres lésions ni de plaque dentaire visible à l'œil nu.

Mme X est enseignante, elle affirme pratiquer un brossage biquotidien avec un dentifrice fluoré et avoir une alimentation équilibrée sans grignottage abusif.

Détermination du RCI :

Mme X consulte pour son contrôle annuel, on peut donc en déduire qu'elle respecte un suivi buccodentaire régulier. Au regard de l'interrogatoire, Mme X ne semble pas présenter de facteur de risque de la maladie carieuse et elle suit un protocole d'hygiène

correct. Aucune autre lésion ni restauration n'a été retrouvée et les deux amalgames vont être remplacés donc Mme X ne présente pas non plus d'indicateurs de la maladie carieuse.

En conclusion Mme X a donc été catégorisée dans le groupe des patients à faible risque carieux (LCR).

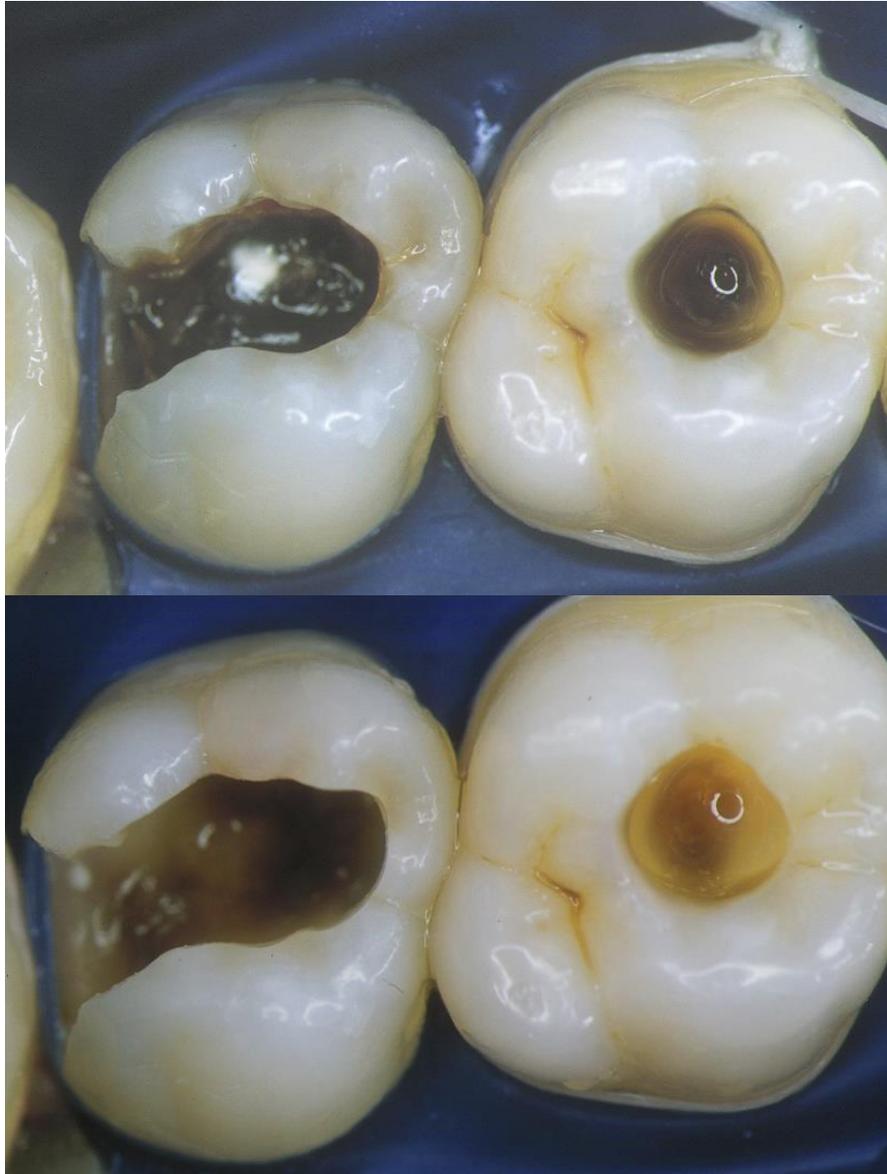


Figure 18 : photographies de 16 et 17 après dépose des amalgames (photo 1), puis après éviction totale des tissus cariés en périphérie de la cavité et éviction partielle en regard de la pulpe (photo 2).

Évaluation de la cavité présente sur la 16 :

La lésion présente sur la 16 est une lésion occlusale. Les critères de décision sont donc :

- Le niveau de RCI
- L'activité carieuse de la lésion
- L'étendue de la lésion

Le RCI a été déterminé comme **bas**, l'aspect de la lésion nous laisse supposer de son **inactivité**, et son étendue reste **modérée**. Dans ces conditions, comme énoncé dans

la partie 4.4.1, **toutes les techniques** de restauration peuvent être choisies en fonction de la préférence du praticien.

Évaluation de la cavité sur la 17 :

La lésion présente sur la 17 est une lésion proximale extensive. Les critères de décision sont donc :

- Le niveau de RCI
- L'activité carieuse de la lésion
- La présence ou non d'émail collable à la marge gingivale

Le RCI a été déterminé comme **bas**, l'aspect de la lésion nous laisse supposer de son **inactivité**, et il semble qu'une **fine couche d'émail sain** résiduel soit présente à la marge gingivale. Dans ces conditions, comme énoncé dans la partie 4.4.2 pour les lésions proximales extensives avec émail collable, **toutes les techniques** de restauration peuvent être choisies en fonction de la préférence du praticien.

Restauration des cavités carieuses :

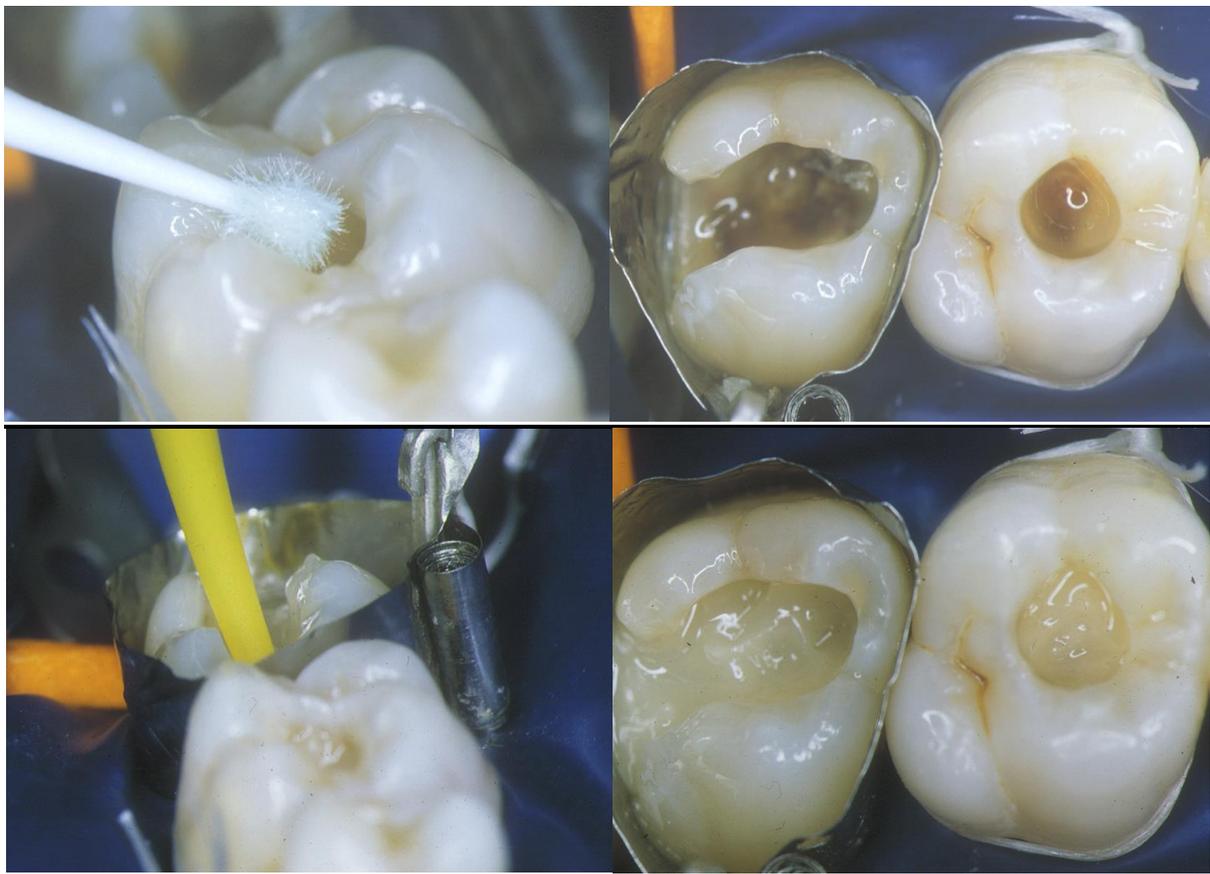


Figure 19 : photographies du protocole de restauration.

En regard des réponses aux critères décisionnels énoncés ci-dessus, toutes les techniques de restaurations sont envisageables en fonction de la préférence du praticien. Ici, le choix s'est porté sur l'utilisation d'une résine composite dual assez fluide en tant que substitut dentinaire, avec une résine composite photopolymérisable plus chargée (donc résistance) de type « occlusal enamel ». Ces matériaux ont été utilisés en association avec un protocole de mordantage-rinçage sélectif de l'émail afin de préserver la pulpe. Un colorant marron a été utilisé pour maquiller les sillons.



Figure 20 : photographie après restauration de 16 et 17 en résine composite.

6.2. Monsieur Y



Figure 21 : photographie intrabuccale de la 26 comportant une lésion carieuse sous une restauration provisoire

Monsieur Y, 45ans, se présente au cabinet dentaire après plusieurs années pour une douleur provoquée de type pulpite réversible au niveau du secteur 2. Monsieur Y n'a aucune pathologie ni allergie mais il rapporte avoir des difficultés respiratoires par obstruction nasale. Il a une sensation de bouche pâteuse et sèche tous les matins. Monsieur Y dit avoir une hygiène correcte avec un brossage biquotidien au dentifrice

fluoré et il utilise un bain de bouche fluoré quotidiennement ainsi qu'un substitut salivaire. Il a aussi l'habitude de mâcher fréquemment des chewing-gums au xylitol. L'examen clinique a révélé la présence d'une carie mésiale sur la 26 (recouverte par un matériau provisoire), ainsi que la présence d'une coiffe céramo-métallique sur la 17 déulpée depuis au moins 5 ans. La présence de plaque ne peut pas être mise en évidence à l'œil nu chez ce monsieur.

Détermination du RCI :

Concernant les indicateurs de la maladie carieuse, aucun ne peut être mis en évidence car la coiffe présente sur la 17 a plus de 3 ans, et la lésion présente sur la 26 est sur le point d'être traitée. Monsieur Y présente un facteur de risque du fait de sa probable sécheresse buccale induite par une respiration buccale, mais il compense ce facteur de risque par certains facteurs de protection que sont :

- Vie-travail au sein d'une communauté fluorée
- Utilisation biquotidienne de dentifrice fluoré
- Utilisation quotidienne de bains de bouche fluorés
- Utilisation de chewing-gum au xylitol
- Utilisation d'un substitut salivaire

Étant donné l'absence d'indicateurs de la maladie carieuse, la détermination du RCI doit être faite en mettant en balance les facteurs de risque et de protection de la maladie carieuse. Ici, le RCI peut donc être déterminé comme bas (**LCR**) puisque le facteur de risque est largement compensé par les facteurs de protection.



Figure 22 : photographies de l'excavation ultrasonique de la restauration temporaire et de l'éviction sélective des tissus cariés.

Évaluation de la cavité carieuse :

La lésion présente sur la 26 est une lésion proximale. Les critères cliniques de décision sont donc :

- Le niveau de RCI
- L'activité carieuse de la lésion
- La présence ou non d'émail collable à la marge gingivale

Le RCI a précédemment été déterminé comme à risque faible (LCR). L'aspect de la lésion nous laisse supposer que c'est une lésion carieuse **extensive et active**, et une bonne épaisseur d'**émail sain** est bien présente à la marge gingivale de la cavité carieuse. Dans ces conditions, comme énoncé dans la partie 4.4.2 pour les lésions proximales extensives avec émail collable chez le patient à faible risque carieux, l'emploi d'un **BRI comme substitut dentinaire** est recommandé.

Restauration de la cavité carieuse :



Figure 23 : photographies de la désinfection de la cavité avec de l'hypochlorite de sodium 1% (photo de gauche), et de l'application d'un CVIMAR en substitut dentinaire (photo de droite).

Ici, étant donné l'éviction sélective des tissus cariés en regard de la pulpe, l'utilisation d'une solution d'hypochlorite de sodium 1% a été jugé utile en préambule à la restauration de la cavité. Un CVIMAR a été choisi comme substitut dentinaire pour sa simplicité de mise en oeuvre et son conditionnement injectable plutôt fluide (en couches successives < 2mm). Ce CVIMAR a ensuite été recouvert d'une résine composite de type OCE (occlusal enamel) grâce à un protocole de mordantage-rinçage sélectif de l'émail (technique du sandwich fermé). Aucun colorant n'a ici été utilisé pour marquer les sillons.

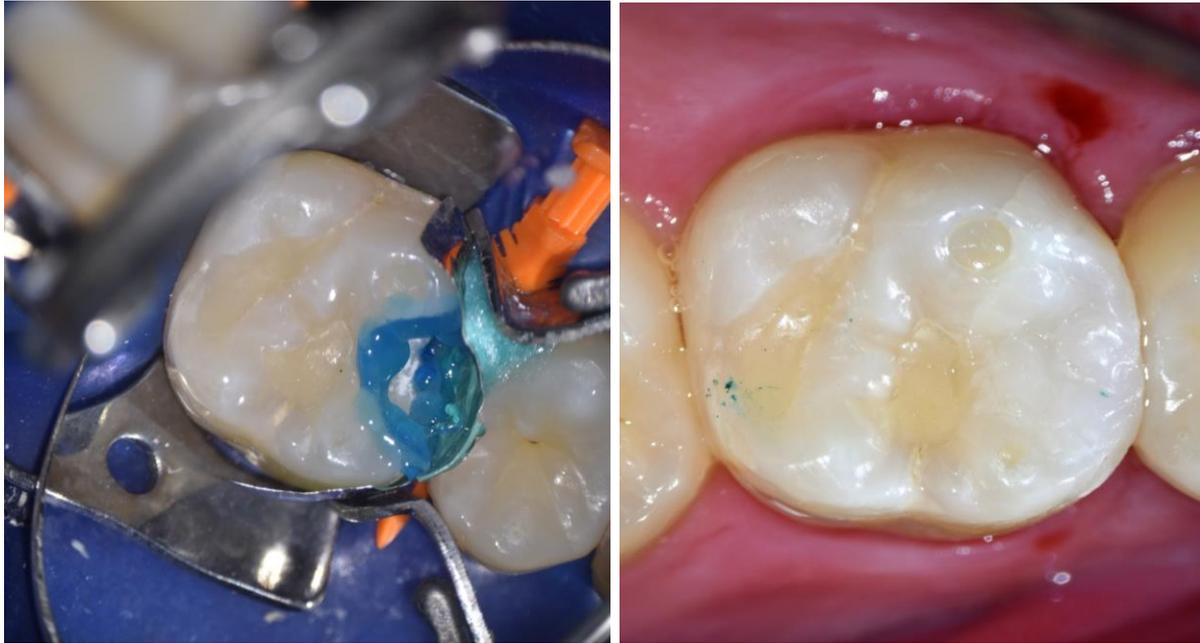


Figure 24 : photographies du mordançage amélaire (photo de gauche) et du résultat final de la restauration (photo de droite).

6.3. Monsieur Z

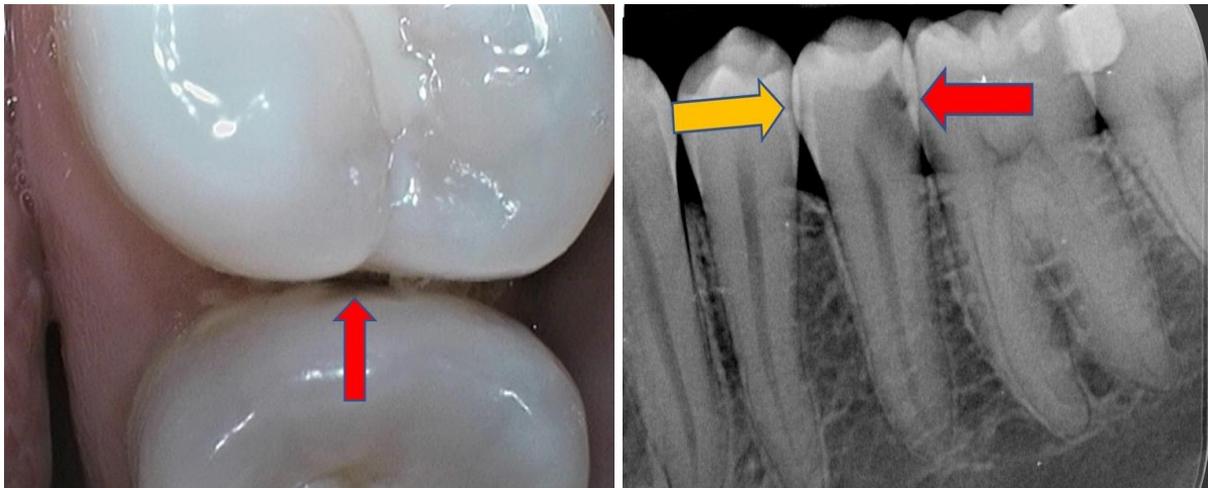


Figure 25 : photographie d'une lésion carieuse proximale en distal de la 35 (à gauche) et cliché rétro-alvéolaire du secteur 3 distal (à droite) illustrant l'étendu de la lésion carieuse sur la 35.

Monsieur Z, 25 ans, se présente pour la première fois au cabinet dentaire pour une douleur provoquée du secteur 3 à type de pulpite réversible. L'interrogatoire n'a révélé aucune pathologie ni allergie, mais monsieur Z rapporte être un consommateur quotidien de cannabis et occasionnel d'amphétamines ou cocaïne. Monsieur Z dit se brosser les dents au moins une fois par jour avec un dentifrice fluoré mais il avoue qu'en contexte festif il peut être un peu plus laxiste.

L'examen clinique a révélé une carie amérodentinaire distale sur la 35 ainsi qu'une carie amélaire mésiale sur cette même dent. De plus, de nombreuses restaurations en

composite sont présentes en bouche dont une partie réalisées il y a moins de 3 ans, et la présence de plaque dentaire épaisse visible à l'œil nu est évidente.

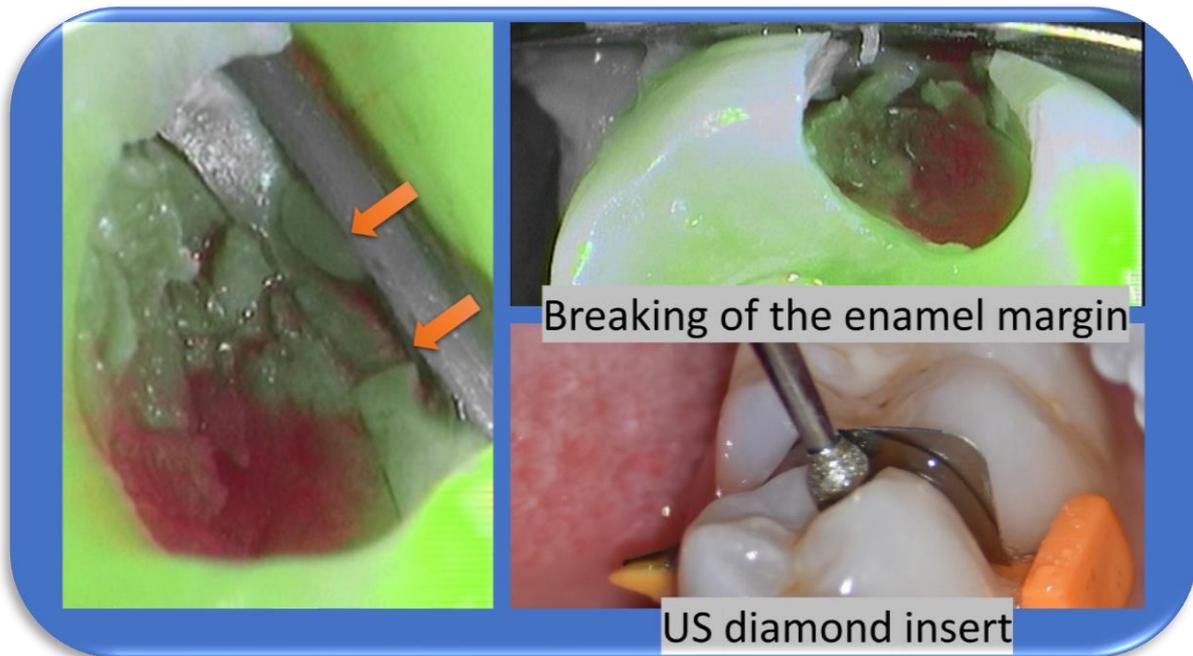


Figure 26 : photographie illustrant l'éviction de l'émail non soutenu avec un insert diamanté ultrasonique (en bas à droite), et photographies de la cavité carieuse en lumière fluorescente (à gauche et en haut à droite).

Détermination du RCI :

Si l'on regarde les indicateurs de la maladie carieuse, on peut d'office placer monsieur Z dans la catégorie des patients à haut risque carieux (**HCR**) car 2 indicateurs peuvent être mis en évidence :

- Une carie amélaire mésiale sur la 35 (visible sur la rétro-alvéolaire)
- La présence d'au moins une restauration datant de moins de 3 ans.

La lésion carieuse en distal de la 35 n'est pas considérée comme un indicateur puisqu'une restauration est déjà prévue pour cette lésion.

Si l'on avait dû évaluer le RCI en l'absence d'indicateur de la maladie carieuse, le résultat n'aurait pas été différent car monsieur Z regroupe plus de facteurs de risques que de facteurs de protection de la maladie carieuse.

→ Facteurs de risque :

- Présence de plaque dentaire épaisse visible à l'œil nu
- Usage de drogues récréatives
- Facteurs réduisant la quantité de salive (cannabis)

→ Facteurs protecteurs :

- Vie et travail au sein d'une communauté fluorée
- Brossage (presque) quotidien avec un dentifrice fluoré

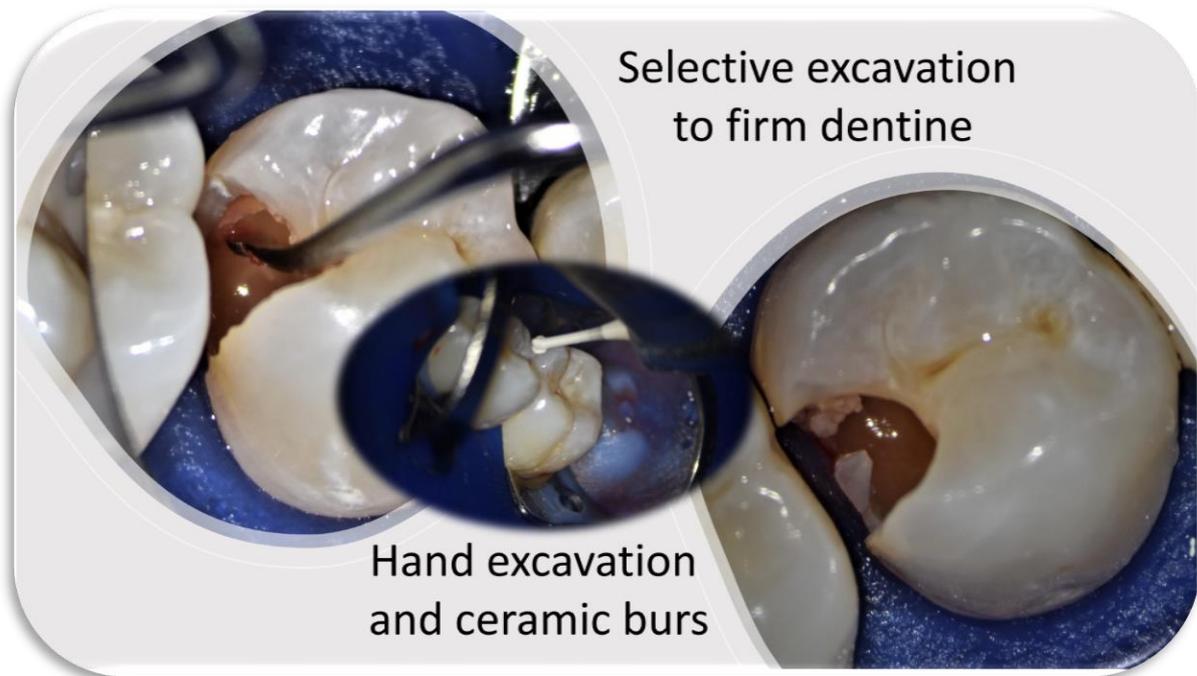


Figure 27 : photographies illustrant l'éviction carieuse selective (jusqu'à la dentine ferme) à l'aide d'une fraise en céramique et d'un excavateur manuel.

Evaluation de la cavité carieuse :

La lésion carieuse présente en distal de la 35 est une lésion proximale. Les critères d'évaluation sont donc :

- Le niveau de RCI
- L'activité carieuse de la lésion
- La présence ou non d'émail collable à la marge gingivale

Le RCI a précédemment été évalué comme à haut risque carieux (**HCR**). La taille de la cavité après excavation et son aspect sous lumière fluorescente nous permet d'affirmer que c'est une lésion **extensive et active**. L'état dégradé de l'émail à la marge gingivale de la lésion nous a conduit à en éliminer une partie et l'on constate donc **l'absence d'émail collable** continu à ce niveau (*Figure 27, photo de droite*).

Dans ces conditions, comme énoncé dans la partie 4.4.2 pour les lésions proximales extensives sans émail collable à la marge gingivale chez les patients à haut risque carieux, l'emploi d'un **BRI de type CVI-HV** est fortement conseillé.

Restauration de la cavité carieuse :

Dans ces conditions, la décision a été prise de restaurer la cavité carieuse de la 35 à l'aide des produits issus de la gamme Riva (SDI).

Etant donné le statut actif de la lésion carieuse et la proximité pulpaire, la première étape du traitement a consisté en l'application d'une solution de SDF grâce système Riva Star Aqua. Ce système comporte 2 solutions qui combinées permettent à la fois de stopper la progression de la lésion carieuse mais aussi de diminuer le risque de sensibilité dentaire post-opératoire.

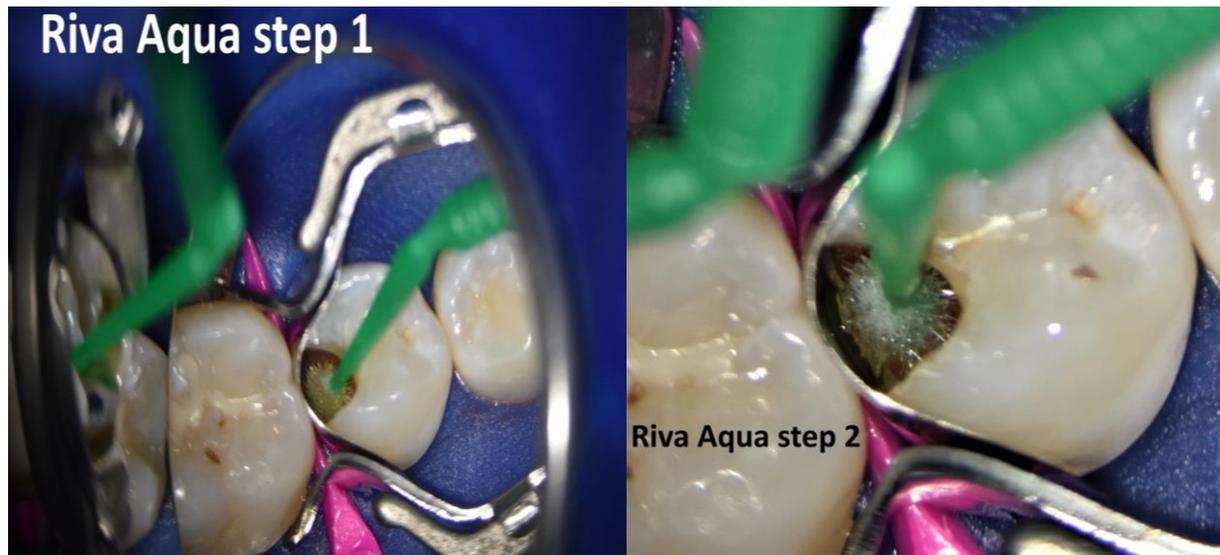


Figure 28 : photographies des deux étapes de l'application du système Riva Star Aqua.

La deuxième étape de la restauration a ensuite consisté en l'application du CVI haute viscosité Riva Self Cure HV (sous matrice sectorielle). Le matériau a été injecté en bloc et en léger excès dans la cavité, puis il a été modelé après quelques secondes de prise pour assurer forme et étanchéité correcte.



Figure 29 : photographies de l'injection du Riva Self Cure HV dans la cavité (à gauche) et du résultat après modelage et retrait des excès (à droite).

Enfin, comme évoqué dans la partie 3.1.2 sur les CVI HV, on sait que ce type de matériau nécessite un temps supplémentaire de maturation afin de devenir pleinement résistant et ainsi pouvoir supporter les contraintes mécaniques et chimiques du milieu buccal. Il est donc conseillé de le protéger avec une résine de glaçage nanochargée automordançante très hydrophile et c'est ici ce qui a été mis en place grâce à la résine Riva Coat.



Figure 30: illustration du résultat final de la restauration par un cliqué rétro-alvéolaire (à gauche) et une photographie intrabuccale (à droite).

7. Conclusion

La dentisterie moderne est en constante évolution et les concepts et matériaux employés connaissent aujourd'hui régulièrement des changements profonds de paradigme au fil des avancées scientifiques et technologiques. La première grande évolution de la dentisterie moderne fut tout d'abord l'essor de la dentisterie adhésive qui a permis l'abandon de pratiques mutilantes et la promotion du concept de biocompatibilité. La deuxième évolution fut l'avènement de la dentisterie minimalement invasive avec l'apparition de la notion de gradient thérapeutique et de préservation des tissus biologiques. Ces deux évolutions ont donc permis de sortir d'un concept purement mécanistique qui visait à remplacer les tissus dentaires perdus, au profit d'une nouvelle pratique plus biocompatible et d'interventions minimales.

Aujourd'hui nous assistons progressivement à la 3^{ème} évolution de la dentisterie moderne avec l'avènement du concept de bioactivité. Il ne s'agit plus de lutter contre la nature en remplaçant les tissus perdus mais de lutter avec elle en stimulant au maximum ses capacités propres de restauration et de maintien.

L'emploi de matériaux bioactifs implique une analyse diagnostique large afin d'aboutir à un protocole thérapeutique individualisé et complet comprenant bien sûr la restauration des lésions, mais aussi une action sur les pratiques quotidiennes, l'alimentation et les actions préventives.

Il n'existe pas de matériau de restauration bioactif idéal possédant des propriétés biologiques pour la récupération des tissus et des propriétés optiques et mécaniques optimales. Cependant, la dissolution ionique des matériaux relargant des ions peut être le facteur clé pour libérer leur potentiel de reminéralisation. Le calcium et le phosphore sont les principaux composants de l'apatite biologique. D'autres ions

inorganiques, tels que le fluorure, le zinc, le magnésium et les groupes silanol peuvent également agir comme substituts dans la formation des cristaux d'apatite. Ces matériaux peuvent offrir des stratégies d'appoint pour le traitement des lésions carieuses cavitaires :

- En délivrant des ions minéraux : afin d'induire la reminéralisation *in situ*, la protection de la pulpe, la stabilisation de la couche hybride, et agir comme modèle de calcium et de phosphore pour stimuler la nucléation nécessaire à la cristallisation de l'apatite.
- En protégeant le collagène de la dégradation : inhibe les MMPs, préserve la couche hybride et réduit donc les micro-fuites
- En induisant un pH favorisant un effet tampon et le dépôt de nouveaux minéraux.
- En repoussant ou contraignant les bactéries (16).

Comprendre les concepts biologiques des différentes catégories de matériaux bioactifs peut aider le clinicien à utiliser le matériau approprié, mais aussi à reconnaître les avantages et les limites de chaque matériau en fonction de chaque cas clinique spécifique.

Pour les matériaux bioactifs de type CVI ou pour les silicates de calcium, le recul clinique et les preuves scientifiques sont aujourd'hui plus que suffisants pour affirmer de leur intérêt dans une pratique quotidienne individualisée, minimalement invasive et bioactive. Et c'est dans cette optique que ces matériaux ont été employés afin d'établir des algorithmes décisionnels aidant à la prise de décision du praticien.

Pour d'autres matériaux plus récents, certains comme le Cention N ou le SDF semblent très prometteurs mais doivent encore être étudiés et progressivement inclus dans une pratique quotidienne prudente afin d'affirmer définitivement leur efficacité.

A l'heure où la nouveauté est devenue quasi-perpétuelle et les brochures des fabricants toujours plus élogieuses la communauté scientifique doit être le garant de l'évaluation impartiale des nouveaux matériaux en fournissant un fort niveau de preuves qui avec le recul clinique permettra d'attester ou non de l'efficacité de tel ou tel matériau.

Si le concept de dentisterie minimale est aujourd'hui mondialement établi et en grande partie mis en œuvre dans beaucoup de régions, le concept bioactifs doit à son tour faire ses preuves et être largement adopté en pratique courante. Au rythme où les évolutions scientifiques progressent, il est donc légitime de se demander quelle sera la prochaine grande évolution conceptuelle en odontologie restauratrice. La bio-ingénierie et le biomimétisme pourraient constituer des pistes sérieuses afin de développer de nouveaux matériaux et de nouveaux concepts qui respectent toujours mieux les tissus biologiques pris au sein d'un organisme vivant complexe, et qui stimulent toujours plus les fabuleuses capacités d'homéostasie, d'adaptabilité et de résilience du corps humain.

BBLIOGRAPHIE

1. Martignon S, Pitts NB, Goffin G, Mazevet M, Douglas GVA, Newton JT, et al. CariesCare practice guide: consensus on evidence into practice. *Br Dent J.* sept 2019;227(5):353-62.
2. Banerjee A, Frencken JE, Schwendicke F, Innes NPT. Contemporary operative caries management: consensus recommendations on minimally invasive caries removal. *Br Dent J.* août 2017;223(3):215-22.
3. Featherstone JDB, Chaffee BW. The Evidence for Caries Management by Risk Assessment (CAMBRA®). *Adv Dent Res.* févr 2018;29(1):9-14.
4. Banerjee A. Minimum intervention oral healthcare delivery - is there consensus? *Br Dent J.* oct 2020;229(7):393-5.
5. Banerjee A. « Minimum intervention » – MI inspiring future oral healthcare? *Br Dent J.* août 2017;223(3):133-5.
6. Banerjee A. 'MI'opia or 20/20 vision? *Br Dent J.* févr 2013;214(3):101-5.
7. Banerjee A. Minimum Intervention (MI) Oral Healthcare Delivery Implementation - Overcoming the Hurdles. *Prim Dent J.* 31 août 2017;6(3 Suppl):28-33.
8. Banerjee A. The Contemporary Practice of Minimally Invasive Dentistry. *Fac Dent J.* 1 avr 2015;6(2):78-85.
9. Banerjee A. Minimal intervention dentistry: part 7. Minimally invasive operative caries management: rationale and techniques. *Br Dent J.* févr 2013;214(3):107-11.
10. Banerjee A, Doméjean S. The Contemporary Approach to Tooth Preservation: Minimum Intervention (MI) Caries Management in General Practice. *Prim Dent J.* 1 sept 2013;2(3):30-7.
11. Banerjee A, Splieth C, Breschi L, Fontana M, Paris S, Burrow M, et al. When to intervene in the caries process? A Delphi consensus statement. *Br Dent J.* oct 2020;229(7):474-82.
12. Spencer P, Ye Q, Song L, Parthasarathy R, Boone K, Misra A, et al. Threats to adhesive/dentin interfacial integrity and next generation bio-enabled multifunctional adhesives. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2019;107(8):2673-83.
13. Bohaty BS, Ye Q, Misra A, Sene F, Spencer P. Posterior composite restoration update: focus on factors influencing form and function. *Clin Cosmet Investig Dent.* 15 mai 2013;5:33-42.
14. Hench LL. The story of Bioglass®. *J Mater Sci Mater Med.* nov 2006;17(11):967-78.
15. Vallittu PK, Boccaccini AR, Hupa L, Watts DC. Bioactive dental materials—Do they exist and what does bioactivity mean? *Dent Mater.* mai 2018;34(5):693-4.
16. Pires PM, Neves A de A, Makeeva IM, Schwendicke F, Faus-Matoses V, Yoshihara K, et al. Contemporary restorative ion-releasing materials: current status, interfacial properties and operative approaches. *Br Dent J.* oct 2020;229(7):450-8.
17. Kreth J, Merritt J, Pfeifer CS, Khajotia S, Ferracane JL. Interaction between the Oral Microbiome and Dental Composite Biomaterials: Where We Are and Where We Should Go. *J Dent Res.* sept 2020;99(10):1140-9.
18. Singh TM, Suresh P, Sandhyarani J, Sravanthi J. GLASS IONOMER CEMENTS (GIC) IN DENTISTRY: A REVIEW. :6.
19. López-García S, Pecci-Lloret MP, Pecci-Lloret MR, Oñate-Sánchez RE, García-Bernal D, Castelo-Baz P, et al. In Vitro Evaluation of the Biological Effects of ACTIVA Kids BioACTIVE Restorative, Ionolux, and Riva Light Cure on Human Dental Pulp

Stem Cells. Materials. janv 2019;12(22):3694.

20. Kaur DM, Mann DNS, Jhamb DA, Batra DD. A comparative evaluation of compressive strength of Cention N with glass ionomer cement: An in-vitro study. *Int J Appl Dent Sci.* :5.
21. Meshram P, Meshram V, Palve D, Patil S, Gade V, Raut A. Comparative evaluation of microleakage around Class V cavities restored with alkasite restorative material with and without bonding agent and flowable composite resin: An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 5 janv 2019;30(3):403.
22. Agarwal M, Singh G, Qureshi R, Singh SK, Mishra A, Khurana N. Comparative Evaluation of Mechanical Properties of Cention N with Conventionally used Restorative Materials—An *In Vitro* Study. *Int J Prosthodont Restor Dent.* déc 2018;8(4):120-4.
23. Kaur M, Singh H, Dhillon JS, Batra M, Saini M. MTA versus Biodentine: Review of Literature with a Comparative Analysis. *J Clin Diagn Res JCDR.* août 2017;11(8):ZG01-5.
24. Ozbay G, Kitiki B, Peker S, Kargul B. Apical Sealing Ability of a Novel Material: Analysis by Fluid Filtration Technique. *Acta Stomatol Croat Int J Oral Sci Dent Med.* 1 juill 2014;48(2):132-9.
25. Allen AJ, Thomas JJ, Jennings HM. Composition and density of nanoscale calcium–silicate–hydrate in cement. *Nat Mater.* 2007;6(4):311-6.
26. O'Brien WJ, éditeur. *Dental materials and their selection.* 3rd ed. Chicago: Quintessence Pub. Co; 2002. 418 p.
27. Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2005;31(2):97-100.
28. Beaujard T. L'usage du fluorure diamine d'argent sur les dents temporaires: revue systématique de la littérature et étude en laboratoire. :73.
29. Schwendicke F, Splieth C, Breschi L, Banerjee A, Fontana M, Paris S, et al. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. *Clin Oral Investig.* 1 oct 2019;23(10):3691-703.
30. Mjör IA, Gordan VV. A review of atraumatic restorative treatment (ART)*. *Int Dent J.* 1999;49(3):127-31.
31. Ngo H, Opsahl-Vital S. Minimal intervention dentistry II: part 7. Minimal intervention in cariology: the role of glass-ionomer cements in the preservation of tooth structures against caries. *Br Dent J.* mai 2014;216(10):561-5.
32. Doméjean S, White JM, Featherstone JDB. Validation of the CDA CAMBRA caries risk assessment--a six-year retrospective study. *J Calif Dent Assoc.* oct 2011;39(10):709-15.
33. Doméjean S, Banerjee A, Featherstone JDB. Caries risk/susceptibility assessment: its value in minimum intervention oral healthcare. *Br Dent J.* août 2017;223(3):191-7.
34. Mustafa HA, Soares AP, Paris S, Elhennawy K, Zaslansky P. The forgotten merits of GIC restorations: a systematic review. *Clin Oral Investig.* 1 juill 2020;24(7):2189-201.
35. Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V. Reliability of a New Caries Diagnostic System Differentiating between Active and Inactive Caries Lesions. *Caries Res.* 1999;33(4):252-60.
36. Trairatvorakul C, Techalertpaisarn P, Siwawut S, Ingprapankorn A. Effect of Glass Ionomer Cement and Fluoride Varnish on the Remineralization of Artificial Proximal Caries in Situ. *J Clin Pediatr Dent.* 24 mars 2010;34(2):131-4.
37. van Dijken JWV, Kieri C, Carlén M. Longevity of Extensive Class II Open-

- sandwich Restorations with a Resin-modified Glass-ionomer Cement. *J Dent Res.* 1 juill 1999;78(7):1319-25.
38. HAS (Haute Autorité de Santé). Synthèse des recommandations professionnelles : appréciation du risque carieux [Internet]. 2005. (Recommandations pour la pratique clinique). Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/risque_carieux_synthese_recos.pdf
 39. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 1. A review of studies in support of a philosophy of Minimum Intervention Dentistry. *Aust Dent J.* 1992;37(2):126-32.
 40. Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 2. An alternative philosophy and some new treatment modalities in operative dentistry. *Aust Dent J.* 1992;37(3):205-10.
 41. Ismail AI, Pitts NB, Tellez M, Authors of the International Caries Classification and Management System (ICCMS). The International Caries Classification and Management System (ICCMS™) An Example of a Caries Management Pathway. *BMC Oral Health.* 15 sept 2015;15(1):S9.
 42. Pitts N, Ekstrand K, Foundation TI. International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) and its International Caries Classification and Management System (ICCMS) – methods for staging of the caries process and enabling dentists to manage caries. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2013;41(1):e41-52.
 43. Pitts NB, Ismail AI, Martignon S, Ekstrand K, Douglas GVA, Longbottom C. ICCMS™ Guide for Practitioners and Educators. :46.
 44. Bratthall D, Hänsel Petersson G. Cariogram – a multifactorial risk assessment model for a multifactorial disease. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2005;33(4):256-64.
 45. Featherstone JDB, Adair SM, Anderson MH, Berkowitz RJ, Bird WF, Crall JJ, et al. Caries management by risk assessment: consensus statement, April 2002. *J Calif Dent Assoc.* mars 2003;31(3):257-69.
 46. Featherstone JD, Domejean-Orliaguet S, Jenson L, Wolff M, Young DA. Caries risk assessment in practice for age 6 through adult. *CDA.* 2007;35(10):703.
 47. Morou-Bermúdez E, Billings RJ, Burne RA, Elías-Boneta A. Caries risk pyramid: a practical biological approach to caries management by risk assessment. *P R Health Sci J.* 2011;30(4).
 48. ADA (American Dental Academy). Caries Risk Assessment and Management [Internet]. [cité 29 mars 2022]. Disponible sur: <https://www.ada.org/resources/research/science-and-research-institute/oral-health-topics/caries-risk-assessment-and-management>
 49. American Academy of Pediatric Dentistry. Caries-risk assessment and management for infants, children, and adolescents. *Ref Man Pediatr Dent* [Internet]. 2019; Disponible sur: https://www.aapd.org/media/Policies_Guidelines/BP_CariesRiskAssessment.pdf
 50. Pitts N. Understanding Dental Caries – from Pathogenesis to Prevention and Therapy. In: Goldberg M, éditeur. *Understanding Dental Caries: From Pathogenesis to Prevention and Therapy* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [cité 29 mars 2022]. p. 3-9. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30552-3_1
 51. Fontana M. The Clinical, Environmental, and Behavioral Factors That Foster Early Childhood Caries: Evidence for Caries Risk Assessment. *Pediatr Dent.* 15 mai 2015;37(3):217-25.

52. Gao X, Di Wu I, Lo ECM, Chu CH, Hsu C ying S, Wong MCM. Validity of caries risk assessment programmes in preschool children. *J Dent.* 1 sept 2013;41(9):787-95.
53. Tilotta F, Lévy G, Lautrou A. *Anatomie dentaire.* Elsevier Health Sciences; 2018. 319 p.
54. Stroud JL, English J, Buschang PH. Enamel thickness of the posterior dentition: Its implications for nonextraction treatment. *Angle Orthod.* 1 avr 1998;68(2):141-6.
55. Kailasam V, Rangarajan H, Easwaran HN, Muthu MS. Proximal enamel thickness of the permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1 déc 2021;160(6):793-804.e3.
56. Bouillaguet S, Gysi P, Wataha JC, Ciucchi B, Cattani M, Godin C, et al. Bond strength of composite to dentin using conventional, one-step, and self-etching adhesive systems. *J Dent.* 1 janv 2001;29(1):55-61.
57. Shimada Y, Senawongse P, Harnirattisai C, Burrow MF, Nakaoki Y, Tagami J. Bond strength of two adhesive systems to primary and permanent enamel. *Oper Dent.* 2002;27(4):403-9.
58. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellemans L, Lambrechts P, et al. Evidence of Chemical Bonding at Biomaterial-Hard Tissue Interfaces. *J Dent Res.* 1 févr 2000;79(2):709-14.
59. Tyas MJ. Milestones in Adhesion: Glass-ionomer Cements. *J Adhes Dent.* 2003;5(4):8.
60. Carvalho Ts, van Amerongen We, de Gee A, Bonecker M, Sampaio Fc. Shear bond strengths of three glass ionomer cements to enamel and dentine. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal.* 2011;e406-10.
61. Schwendicke F, Frencken JE, Bjørndal L, Maltz M, Manton DJ, Ricketts D, et al. Managing Carious Lesions: Consensus Recommendations on Carious Tissue Removal. *Adv Dent Res.* 1 mai 2016;28(2):58-67.
62. Türkün L, Kanik Ö. A Prospective Six-Year Clinical Study Evaluating Reinforced Glass Ionomer Cements with Resin Coating on Posterior Teeth: Quo Vadis? *Oper Dent.* 1 nov 2016;41(6):587-98.
63. Francois P, Fouquet V, Attal JP, Dursun E. Commercially Available Fluoride-Releasing Restorative Materials: A Review and a Proposal for Classification. *Materials.* janv 2020;13(10):2313.
64. Sauro S, Makeeva I, Faus-Matoses V, Foschi F, Giovarruscio M, Maciel Pires P, et al. Effects of Ions-Releasing Restorative Materials on the Dentine Bonding Longevity of Modern Universal Adhesives after Load-Cycle and Prolonged Artificial Saliva Aging. *Materials.* janv 2019;12(5):722.
65. Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, Kundzina R, et al. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019;52(7):923-34.
66. Hashem D, Mannocci F, Patel S, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. Evaluation of the efficacy of calcium silicate vs. glass ionomer cement indirect pulp capping and restoration assessment criteria: a randomised controlled clinical trial—2-year results. *Clin Oral Investig.* 1 avr 2019;23(4):1931-9.
67. Dijken JWV van. A 6-year prospective evaluation of a one-step HEMA-free self-etching adhesive in Class II restorations. *Dent Mater.* 1 nov 2013;29(11):1116-22.
68. May E, Donly KJ. Fluoride release and re-release from a bioactive restorative material. *Am J Dent.* 1 déc 2017;30(6):305-8.
69. Porenczuk A, Jankiewicz B, Naurecka M, Bartosewicz B, Sierakowski B, Gozdowski D, et al. A comparison of the remineralizing potential of dental restorative materials by analyzing their fluoride release profiles. *Adv Clin Exp Med.*

2019;28(6):815-23.

70. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. *Dent Mater J*. 2018;advpub:2017-161.

71. Tiskaya M, Al-eesa NA, Wong FSL, Hill RG. Characterization of the bioactivity of two commercial composites. *Dent Mater*. 1 déc 2019;35(12):1757-68.

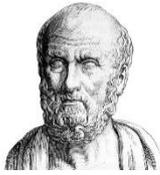
72. Arora D, Jain M, Sogi HS, Shahi P, Gupta I, Sandhu M. In vivo evaluation of clinical performance of Cention N and glass ionomer cement in proximal restorations of primary molars. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 1 janv 2022;40(1):23.

73. Mohamed Abubacker MH. Comparison of Clinical Efficiency of Cention - N (With and Without Adhesive) and Composite Resin (Tetric N Ceram Bulk Fill) as Class 1 Restorations: A Randomized Controlled Clinical Trial [Internet] [masters]. Tamil Nadu Government Dental College and Hospital, Chennai; 2020 [cité 25 juin 2022]. Disponible sur: <http://repository-tnmgrmu.ac.in/14401/>

74. Alaghehmad H, Mansouri E, Esmaili B, Bijani A, Nejadkarimi S, Rahchamani M. Effect of 0.12% chlorhexidine and zinc nanoparticles on the microshear bond strength of dentin with a fifth-generation adhesive. *Eur J Dent*. janv 2018;12(1):105-10.

75. Hameed H, Babu BP, Sagir VMM, Chiriyath KJ, Mathias J, Shaji AP. Microleakage in Resin Composite Restoration following Antimicrobial Pre-treatments with 2% Chlorhexidine and Clearfil Protect Bond. *J Int Oral Health JIOH*. juill 2015;7(7):71-6.

76. Bottacchiari S, De Paoli S, Bottacchiari PA. Biologic restoration: the effects of composite inlays on patient treatment plans. *Int J Periodontics Restorative Dent*. avr 2011;31(2):115-23.



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.

ROUX Jonathan – Les matériaux bioactifs dans le traitement des lésions cavitaires (ICDAS 4 à 6) en odontologie restauratrice.

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2022

Rubrique de classement : Odontologie restauratrice, Biomatériaux

Résumé :

Cette thèse a pour but de décrire les matériaux bioactifs actuellement disponibles sur le marché pour le traitement des lésions carieuses cavitaires (ICDAS 4 à 6), de définir les critères décisionnels influents dans le choix thérapeutique de tel ou tel technique, et d'en faire ressortir des algorithmes décisionnels reproductibles permettant d'inclure ces matériaux bioactifs dans une pratique courante en odontologie restauratrice.

Après une mise à jour de la définition d'un matériau bioactif dans la partie 2, les différents matériaux sont présentés et regroupés par familles dans la partie 3. Dans la partie 4 nous avons mis en évidence les critères décisionnels influençant la prise de décision pour en faire ressortir des algorithmes décisionnels simples et reproductibles. Enfin nous parlons des limites de ces matériaux dans la partie 5 et nous illustrons leur utilisation au travers de cas cliniques dans la partie 6.

Mots clés :

Matériaux bioactifs

Matériaux bio-interactifs

Dentisterie minimalement invasive

Restauration directe conservatrice

Thérapie individualisée

Roux Jonathan – Bioactive materials for treatment of cavitary lesions (ICDAS 4 to 6) in restorative dentistry.

Abstract :

The aim of this thesis is to describe the bioactive materials commercially available for the treatment of cavitary carious lesions (ICDAS 4 to 6), to define the decision criteria influencing the therapeutic choice between the different technics, and to highlight reproducible clinical flow charts allowing the inclusion of these bioactive materials in current practice for restorative dentistry.

After updating the definition of a bioactive material un part 2, the different materials are presented and grouped in families in part 3. In part 4 we have highlighted the decision criteria influencing the decision-making process in order to produce simple and reproducible clinical flow charts. Finally, we discuss the limitations of these materials in part 5 and illustrate their uses through clinical cases in part 6.

Key words :

Bioactive materials

Bio-interactive material

Minimally invasive dentistry

Conservative direct restoration

Individualised therapy