



HAL
open science

La désinfection dentinaire est-elle nécessaire en odontologie restauratrice ?

Victorien Mulot

► **To cite this version:**

Victorien Mulot. La désinfection dentinaire est-elle nécessaire en odontologie restauratrice?.
Chirurgie. 2020. dumas-03206655

HAL Id: dumas-03206655

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03206655>

Submitted on 23 Apr 2021

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

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



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

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

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

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

*La désinfection dentinaire est-elle nécessaire en
odontologie restauratrice ?*

Présentée par

MULOT Victorien

Né le 15 mai 1990

A Toul

Thèse soutenue le **Judi 16 avril 2020**

Devant le jury composé de

Président : Professeur BUKIET Frédéric

Assesseurs : Professeur TASSERY Hervé

Docteur ABOUDHARAM Gérard

Docteur BALLESTER Benoît

THESE

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

Présentée et publiquement soutenue devant la

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

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

*La désinfection dentinaire est-elle nécessaire en
odontologie restauratrice ?*

Présentée par

MULOT Victorien

Né le 15 mai 1990

A Toul

Thèse soutenue le **Judi 16 avril 2020**

Devant le jury composé de

Président : **Professeur BUKIET Frédéric**

Assesseurs : **Professeur TASSERY Hervé**

Docteur ABOUDHARAM Gérard

Docteur BALLESTER Benoît

ADMINISTRATION

Mise à jour : mars 2020

Doyens Honoraires

Professeur	Raymond SANGIUOLO†
Professeur	Henry ZATTARA
Professeur	André SALVADORI
Professeur	Jacques DEJOU

Doyen Assesseurs

Professeur	Bruno FOTI
Professeur	Michel RUQUET
Professeur	Anne RASKIN

Directeurs de Départements

Formation Initiale	Professeur	Michel RUQUET
Recherche	Professeur	Anne RASKIN
Formation Continue	Professeur	Frédéric BUKIET

Charges de missions

Relations Internationales	Professeur	Hervé TASSERY
Internat et Diplômes d'études spécialisées	Professeur	Virginie MONNET-CORTI
Affaires générales	Docteur	Patrick TAVITIAN

Responsable des Services Administratifs et Techniques

Madame	Katia LEONI
--------	-------------

LISTE DES ENSEIGNANTS

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

BUKIET Frédéric (58-01)
FOTI Bruno (56-02)
MONNET-CORTI Virginie (57-01)
ORTHLIEB Jean-Daniel (58-01)
RASKIN Anne (58-01)
RUQUET Michel (58-01)
TARDIEU Corinne (56-01)
TARDIVO Delphine (56-02)
TASSERY Hervé (58-01)

PROFESSEUR DES UNIVERSITES

ABOUT Imad (65)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS DES CSERD

ABOUDHARAM Gérard (58-01)	LAURENT Michel (58-01)
BANDON Daniel (56-01)	LAURENT Patrick (57-01)
BELLONI Didier (57-01)	LE GALL Michel (56-01)
BOHAR Jacques (56-01)	MAILLE Gérald (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)	TERRER Elodie (58-01)
LABORDE Gilles (58-01)	TOSELLO Alain (58-01)
LAN Romain (57-01)	

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES ASSOCIES

BLANCHET Isabelle (56-01)
MENSE Chloé (58-01)

ASSISTANTS HOSPITALIERS ET UNIVERSITAIRES

AL AZAWI Hala (56-01)	HAHN-GOLETTI Larissa (58-01)
ANTEZACK Angeline (57-01)	LIOTARD Alica (58-01)
ARNIER Canelle (56-01)	MANSUY Charlotte (58-01)
BACHET-DORISON Damienne (56-01)	MARTIN William (56-01)
BALLESTER Benoît (58-01)	MATTERA Rémi (56-01)
CAMBON Isabelle (56-01)	MELLOUL Sébastien (57-01)
CASAZZA Estelle (56-01)	PARFU Anne (58-01)
CASTRO Romain (57-01)	PASCHEL Laura (58-01)
DAVID Laura (56-01)	PILLIOL Virginie (58-01)
DEVICTOR Alix (58-01)	REPETTO Andréa (58-01)
DODDS Mélina (58-01)	ROMANET Yvan (57-01)
DRAUSSIN Thierry (56-02)	SANTUNIONE Charlotte (58-01)
DUMAS Cathy (57-01)	SILVESTRI Frédéric (58-01)
HADJ-SAID Mehdi (57-01)	VINAÏ Michael (56-01)

ASSISTANTS DES UNIVERSITES ASSOCIES

HOUVENAEGHEL Brice (57-01)
LE FOURNIS Chloé (57-01)

Intitulés des sections CNU :

- 56^{ème} section : Développement, croissance et prévention
 - 56-01 Odontologie pédiatrique et orthopédie dento-faciale
 - 56-02 : Prévention – Epidémiologie – Economie 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

Remerciements

A mon président de thèse
Monsieur le Professeur F.BUKIET
Professeur des Universités

Je vous remercie de m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Merci pour votre gentillesse, votre disponibilité et la qualité de votre enseignement à la faculté comme à la clinique. Veuillez trouver l'expression de mes remerciements les plus sincères.

A mon directeur de thèse
Monsieur le Professeur H.TASSERY
Professeur des Universités

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger cette thèse. Votre gentillesse, par des mots ou des chocolats, votre bonne humeur et votre sympathie envers les étudiants témoignent de vos qualités humaines. L'ouverture de votre bureau lors de vos séances de soins a toujours été pour moi une source de curiosité et ces instants resteront pour moi de bons souvenirs parmi ces nombreuses années de clinique. Apprendre avec à vos côtés a toujours été un plaisir. Veuillez accepter mes plus profonds remerciements ainsi que ma sincère reconnaissance.

A mon juge
Monsieur le Docteur G.ABOUDHARAM
Maître de Conférence des Universités

Vous avoir comme membre du jury est un honneur. Malgré le peu de travail effectué à vos côtés, j'ai pu trouver en vous un enseignant passionné. Vous avez permis à ces séances d'être agréables et elles ont contribué à me donner encore plus d'intérêt pour l'odontologie. C'est une chance d'avoir pu apprendre à vos côtés.

A mon juge
Monsieur le Docteur B.BALLESTER
Assistant Hospitalo-Universitaire

Merci pour votre sympathie à la faculté comme en dehors. Votre engagement pour l'enseignement auprès des étudiants reste un exemple et suscite mon admiration. Les séances du mercredi après-midi n'ont jamais été une contrainte lorsque je travaillais avec vous.
Merci pour tout

Sommaire

I/ Introduction	2
1 Bactérie	2
2 Désinfection	3
II/ Méthode de désinfection	5
1. Solution	5
Hypochlorite de sodium	5
Chlorhexidine	7
Chlorure de tolonium	9
Fluorure diamine d'argent	12
2. Moyen physique	15
Laser	15
3. Les matériaux	17
CVI	17
CVIMAR	18
CVIHV	19
Composite activa	20
Composite chargées en ion	21
Adhésif antibactérien	21
III/Conséquences de différents méthodes	22
Diminution des bactères	22
Les tissus dentaires	24
Chaleur	24
Pulpe	24
Collage	25
Couleur	28
Carie secondaire	30
Conclusion	31

La carie dentaire est une maladie caractérisée par la déminéralisation et la destruction de l'organe dentaire. C'est l'une des maladies les plus répandues dans le monde et est d'origine bactérienne. Elle a une étiologie multifactorielle. Keyes, en 1969, a suggéré que son déclenchement était lié à trois facteurs principaux : l'hôte, l'environnement et les bactéries.

La destruction de la substance dentaire par la carie et par le fraissage est à ce jour irréversible. L'exercice trop importante de la carie peut conduire à une exposition pulpaire. La dentisterie à minima, qui tente de préserver au maximum les structures dentaires non touchées, a été rendue possible avec les possibilités qu'offre la dentisterie adhésive.

Une restauration de la perte de substance est nécessaire pour la protection de la dent, la restauration des fonctions ainsi que l'esthétique. Le débridement purement mécanique ne garantit pas un nettoyage de la dentine infectée et des bactéries résiduelles. Il favorise le soin du symptôme de carie (perte de substance) plus que de son origine (bactéries). Les caries étant des infections localisées, un traitement de désinfection semble être une option intéressante.(1) L'élimination des bactéries de la dentine déminéralisée pourrait donc contribuer à une approche plus conservatrice pour traiter les lésions carieuses

Nous verrons ici différents moyens de désinfection dentinaire pouvant être utilisés dans un cabinet (solutions chimiques, physiques, matériaux) ainsi que leurs conséquences sur les tissus dentaire.

I/Introduction

1/ Bactéries

La cavité buccale est une cavité extérieure, comme toutes les cavités extérieures du corps, elle présente un microbiote. Le microbiote oral est principalement constitué de bactéries. Plusieurs milliers d'espèces colonisent les différentes parties de la bouche et certaines d'entre elles constituent le biofilm qu'est la plaque dentaire. La salive contient des bactéries dont la concentration va de 10 à 1000 millions de germes par millilitre.

Les bactéries étant microscopiques, elles ne sont donc pas visibles à l'œil nu. C'est Antoine Van Leeuwenhoek qui fut le premier à observer des bactéries en 1668, grâce à un microscope de sa fabrication.

En 1890, Miller émet la théorie chimioparasitique dans laquelle des bactéries lactiques sont responsables de la carie.

C'est en 1924 que le Dr Clarke identifie *Streptococcus Mutans*(2) comme responsable de la carie dentaire.

Depuis l'écologie microbienne a été mieux étudiée ainsi que la mise en cause d'autres bactéries dans le processus carieux. Les champignons et virus n'ont pas de lien direct avec le processus carieux alors que la présence de bactéries est indispensable.

Les bactéries cariogènes possèdent trois critères de virulence dans le processus carieux. Elles sont acidogènes de par leur métabolisme par fermentation lactique, acidophiles de par leur croissance favorisée en milieu acide, et capable de synthétiser des polymères glucidiques à l'extérieur du corps bactérien.(3)



Figure 1: *Streptococcus Mutans* (Dieumerci DISADILA)

Plusieurs types de bactéries sont retrouvés dans les caries dentaires

Le plus important genre de bactérie cariogène est le genre streptococcus, dont S Mutans est la principale bactérie. Impliquée dans l'initiation de la carie, S Mutans est une bactérie de type Gram positif et est aéro-anaérobie facultative. On peut également citer S Sobrinus

Les lactobacilles sont présentes lors de la propagation, dans les zones pauvres en O₂ avec un fort relâchement d'acide lactique. Leur nombre est proportionnel à la profondeur de la carie, contrairement à celui de Streptococcus Mutans. Lactobacillus intervient dans l'évolution et la progression de la lésion alors que Streptococcus Mutans est plus un initiateur du processus carieux en créant le contexte d'apparition du processus. Les bactéries les plus citées dans ce genre sont L Acidophilus et L casei

Les actinomyces sont plus spécifiquement retrouvées dans les caries radiculaires. A Viscosus est un exemple de ce genre

Un modèle microbien comprenant Streptococcus Mutans and Lactobacillus casei a d'ailleurs été validé pour l'étude in vitro des étiologies microbiennes et de la prévention des caries secondaires.(4)

2/Désinfection

La désinfection est l'action d'éliminer certains germes de manière à stopper ou prévenir une infection par des micro-organismes. Cette définition s'applique à la décontamination de surfaces et d'objets inanimés. Pour l'usage corporel, le terme d'antisepsie est plus approprié. L'antisepsie est une opération au résultat momentané permettant d'éliminer les micro-organismes au niveau des tissus vivants par application d'un produit antiseptique. Ceci est à distinguer des antibiotiques qui sont administrés par injections ou par voie oral. De nombreux agents sont considérés comme antibactérien et incorporés sous différentes formes dans des produits désinfectants. Ils peuvent être de nature ionique (fluor, argent, cuivre...) ou moléculaire (hypochlorite, chlorhexidine, amonium quaternaire...). Des méthodes non chimiques existent également comme les lasers ou la privation de substances nutritives.

Dans le cas de la carie, la désinfection est nécessaire à plusieurs stades.

Primaire, dans la prévention de la carie, par l'élimination de la plaque dentaire Les bactéries mortes en surface du biofilm suite à l'action d'un antibiotique peuvent agir comme une barrière physique protégeant les autres bactéries face à une antisepsie. C'est pourquoi la désorganisation du biofilm par le brossage est nécessaire pour obtenir une désinfection vraiment efficace.

Secondaire, en éliminant les bactéries cause de la carie lors du soin

Tertiaire en empêchant l'apparition de caries secondaires

Une fois qu'elles ont atteints la dentine, les bactéries peuvent s'insinuer dans les tubuli dentinaires. Les tubuli dentinaires sont des espaces dans la structure minérale contenant notamment des prolongements odontoblastiques. Ils sont approximativement perpendiculaires au mur dentinaire entourant la pulpe et ont une forme conique à base coté pulpaire. Lors d'atteinte dentinaire par la carie, les tubuli peuvent être colonisés par les bactéries. En effet, la taille des bactéries est d'environ 0,5 micromètre alors que les tubules ont une taille croissante de la jonction amélo-dentinaire à la pulpe allant de 0,6 à 8 micromètres.

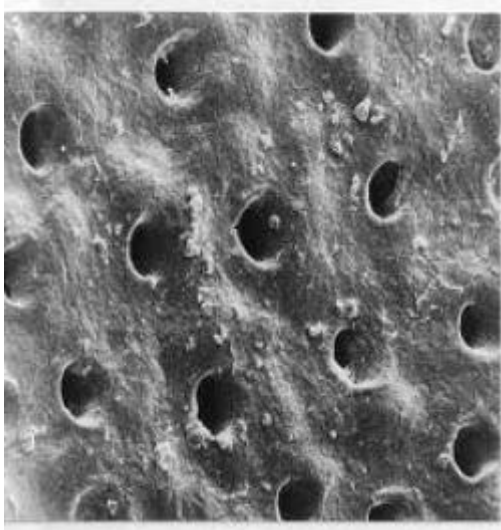


Figure 2: Tubuli dentinaire (Dr Hauteville)

De plus, l'éviction mécanique de la dentine carieuse entraîne la formation de boue dentinaire. La boue dentinaire est un enduit constitué de débris organique, minéraux et de bactérie. Elle oblitère les orifices tubulaires. Son épaisseur est de l'ordre de quelques micromètres et varie en fonction du type d'instrument utilisé et de la projection d'eau. Elle présente donc une couche qui peut protéger les bactéries présentes en dessous si elle n'est pas éliminée.

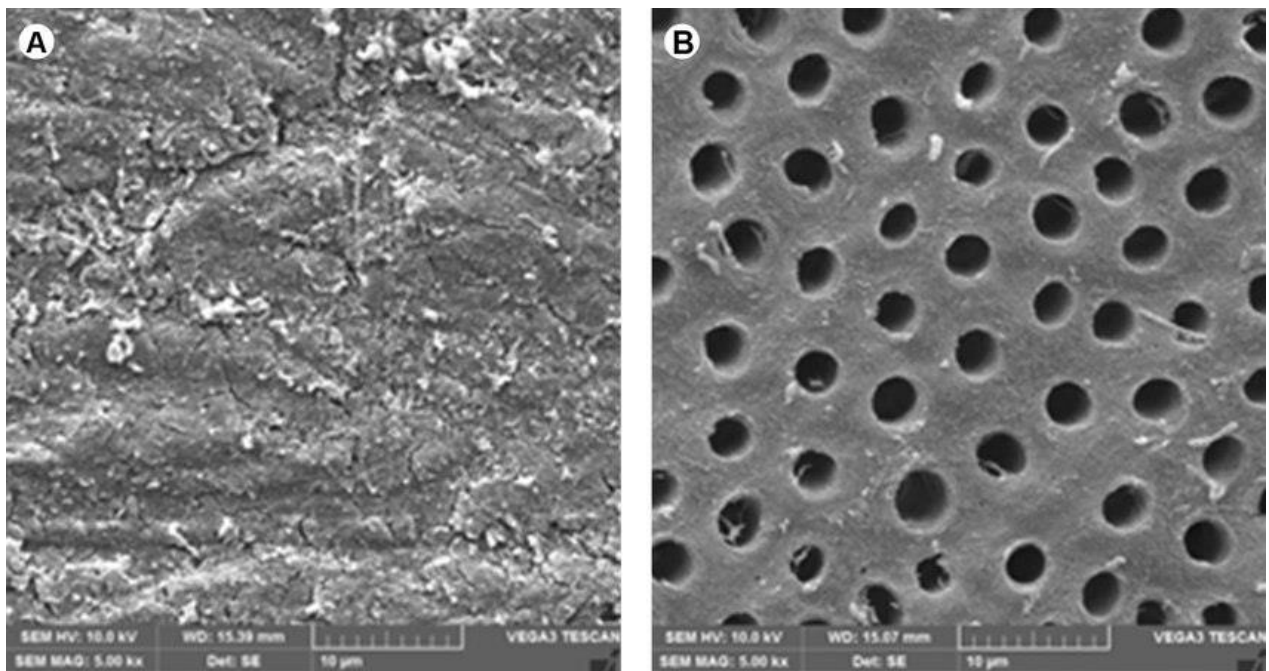


Figure 3: Vu de la dentine avec et sans boue dentinaire (Gabriela D. Canali)

Ces critères sont à prendre en compte et distinguent la désinfection carieuse d'une désinfection de surface de l'émail par exemple.

Plusieurs zones sont schématiquement distinguées dans la lésion carieuse dentinaire :

- la zone nécrotique, consiste en une destruction du tissu dentinaire et de son réseau tubulaire. On y trouve un mélange de plaque bactérienne et de matrice collagénique désintégrée par

l'activité bactérienne protéolytique. C'est cette partie de la lésion qui est facilement enlevée manuellement à l'aide d'une curette en clinique

- la zone infectée, elle est caractérisée par une atteinte de la dentine péri-tubulaire et la présence de nombreuses bactéries dans les tubules. Ces bactéries peuvent apparaître isolées ou le plus souvent sous forme d'agrégats.
- la zone affectée, où les sels minéraux sont partiellement dissous, mais avec préservation de la morphologie péri- et inter-tubulaire. Il existe des bactéries dans les tubules mais celles-ci se font de plus en plus rares en direction de la pulpe. Une reminéralisation de la dentine partiellement déminéralisée est possible ainsi que la formation de dentine réactionnelle dans la pulpe en regard de l'agression. (5)

Alors que des études ont montrées une corrélation entre la couleur et la dureté de la dentine et la réduction du nombre de bactérie, d'autre n'ont pas mise en évidence cette association. De ce fait, le changement de couleur, de consistance et d'humidité de la dentine ne peut pas être considéré comme des paramètres ultimes pour déterminé la décontamination complète de la dentine.(6,7)De plus, l'acide phosphorique utilisé pour le mordantage lors de la procédure de collage ne montre pas de potentiel antibactérienne. (8) Ceci peut justifier l'utilisation de méthodes antiseptiques pour s'assurer de la désinfection de la zone traité.

II/Méthodes de désinfection dentinaire

1/Solutions

Nous allons voir quelques solutions antibactériennes pouvant être utilisées dans le cadre dentaire. Les solutions doivent répondre à plusieurs critères :

- Potentiel antibactérien général connu
- Rapidité d'action
- Facilement procurable
- Facilité d'utilisation
- Stable (facilement stockable)
- Cliniquement acceptable
- Cytotoxicité nul ou faible

Leur efficacité peut être influencé par plusieurs facteurs dont

- La concentration
- Le temps de contact
- L'interaction avec le milieu (ph, présence de fluide et résidu organique)
- L'interaction avec d'autres substances (précipitation au contact d'autres molécules)

Hypochlorite de sodium

L'hypochlorite de sodium a été étudié particulièrement à partir de 1775 par Claude Louis Berthollet. Il est alors utilisé notamment pour faire de l'eau de Javel. C'est le chirurgien Percy qui amena l'eau de Javel dans le milieu hospitalier aux vues de ses caractéristiques antiseptiques.

Les cellules phagocytaires de l'immunité (granulocytes neutrophiles, monocytes, macrophages) produisent entre autres de l'acide hypochloreux pour détruire des bactéries. De nos jours, l'hypochlorite de sodium est présent dans de nombreux produits désinfectants de surfaces. En Europe, la plupart des compagnies de production d'eau potable utilisent le

chlore en tant que désinfectant. Il est ajouté à l'eau sous forme de gaz de chlore, d'hypochlorite de calcium ou d'hypochlorite de sodium.(9)

D'un point de vue médicale, le Dakin est un produit contenant de l'hypochlorite et est couramment utilisé. L'hypochlorite de sodium est actuellement le « gold standard » de l'irrigation en endodontie. Plus la concentration est grande et plus l'activité est grande, il est utilisé à des concentrations comprises entre 2,5 et 5 %, ce qui lui confère un pH d'environ 11. (L'HAS conseille une concentration à 2,5% pour les traitements endodontiques)



Figure 4: hypochlorite de sodium dans un flacon à verre fumé

Trouvable déjà dilué chez tous les fournisseurs de matériel dentaire, à la pharmacie ou à préparer soit même en ajoutant du dichlore à de la soude selon la formule $\text{Cl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$.

L'hypochlorite de sodium se décompose lentement à température ambiante. Ça décomposition est accéléré par la chaleur, la lumière et les ions métalliques. Il est donc recommandé de le conserver maximum 15 jours après ouverture, en dessous de 22°C, dans un flacon en verre fumé ou en plastique opaque.

L'hypochlorite de sodium est un sel, de formule NaClO. En milieu aqueux ; le NaOCl va entraîner la formation des ions Na^+ et OCl^- qui établissent un équilibre avec l'acide hypochloreux (HOCl), et c'est cet acide hypochloreux qui va définir l'action de l'hypochlorite de sodium.

L'action désinfectante de l'hypochlorite de sodium est principalement due à l'action du chlore, via notamment l'acide hypochloreux HOCl. Cette forme du chlore dans l'eau pénètre facilement à travers les parois des membranes cellulaires et agit de deux façons : par un caractère oxydant général et par l'action immédiate et spécifique de chloration des fonctions aminées des protéines.

Cette solution, également utilisée comme agent blanchisseur sur les vêtements, possède des propriétés éclaircissantes, il n'y a donc pas de risque de dyschromie dentaire à son usage. Il peut d'ailleurs être utilisé pour éliminer les colorations dû à un détecteur de carie.(10)

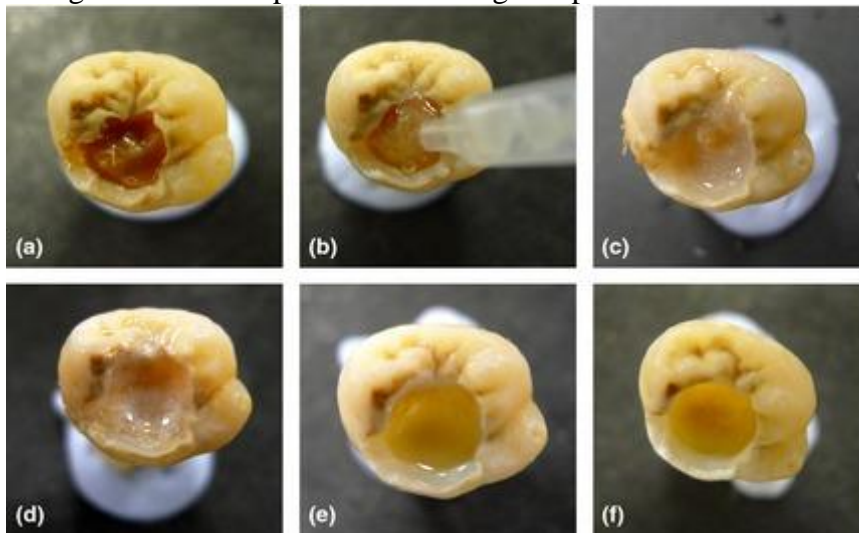
L'hypochlorite possède une cytotoxicité réelle, des précautions d'utilisation sont à prendre lors de son usage afin d'éviter des complications qui peuvent être : contact avec les yeux, réaction allergique (rare) ou décoloration des vêtements. C'est pour cette raison que sa concentration est limité.

L'effet antibactérien de l'hypochlorite de sodium en solution est connu et son effet sur les bactéries cariogènes a été confirmé.(11) Il est d'ailleurs utilisé comme groupe témoin positif dans nombres d'études sur l'efficacité d'agents antibactériens aussi bien en vue de la désinfection d'une lésion carieuse ou qu'en endodontie.

Une étude sur l'efficacité antibactérien de plusieurs solutions a montré son efficacité sur des blocs de dentine misent en contact de S Mutans et S Sobrinus. Une application de 30s avec une solution de concentration 1% n'a laissé que 0.03% des bactéries vivantes.(12) Une valeur de concentration supérieur aurai probablement encore diminué ce pourcentage.

L'hypochlorite a la faculté de dissoudre des composés organiques et notamment le collagène présent dans la dentine ainsi que les tissus nécrotiques et bactéries mortes(13). Il est d'ailleurs étudié comme agent déprotéinisant avant des procédures de collage (14)

L'hypochlorite de sodium est pour cette même propriété un des composants de Carisolv® et de Carie-Care™.(15) Ces produits sont vendus pour leur capacité de débridement chimiomécanique de la lésion carieuse. Ce sont des agents protéolytiques qui permettent l'élimination des composants organiques, menant à la rupture des liaisons hydrogène du collagène dentinaire préalablement dégradé par la déminéralisation engendrée par la carie.



Action de Carisolv® sur une carie dentaire

Comme l'hypochlorite de sodium n'a d'action que sur la partie organique de la boue dentinaire, il est incapable de dissoudre totalement celle-ci. De ce fait, son action ne peut pas être complète si celle-ci n'est pas retiré préalablement.

Pour une action de réduction bactérienne maximale, il faut donc appliquer de l'hypochlorite de sodium après l'acide phosphorique, et ensuite effectuer le protocole de collage.

L'ensemble des études analysées pendant ce travail rince la solution à l'eau avant le protocole de collage.

Chlorhexidine

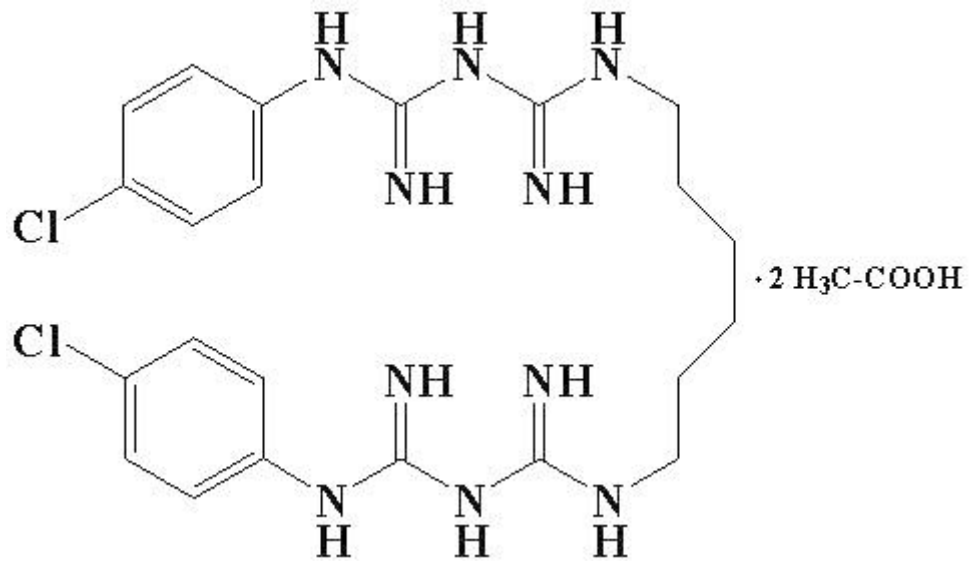
La chlorhexidine a été synthétisé pour la première fois en 1950 lors d'essais dont le but de trouver des molécules analogues synthétiques antibactériens de type proguanil.

De nos jours présente dans de nombreux produits tels que bains de bouche, pansements, brossettes interdentaires, fils dentaire, sprays désinfectant, dentifrices, elle fait partie de la liste des médicaments essentiels selon l'OMS.(16)

Elle est de faible coût et facilement trouvable dans le commerce ou à la pharmacie. Elle se conserve bien, idéalement à une température inférieure à 25°C.

Appartenant à la famille des biguanides, de formule $C_{22}H_{30}Cl_2N_{10}$, elle est utilisée sous forme de digluconate de chlorhexidine pour sa solubilité dans l'eau. Elle est présente notamment dans les bains de

bouche à une concentration de 0,1 à 0,2%.



Conformation chimique de la chlorhexidine

La chlorhexidine a un large spectre d'action. Elle est chargée positivement et réagit avec les surfaces cellulaires chargées négativement, entraînant la destruction de l'intégrité de la membrane cellulaire. Les bactéries à gram positif étant plus chargées négativement que les gram négatif, elles sont plus sensibles à cet agent.

De plus, comme la chlorhexidine exerce une force d'attraction sur les zones chargées négativement, elle va être absorbé par la dentine et pourrait donc prévenir une colonisation bactérienne pendant un certain temps. L'un des avantages majeurs du digluconate de chlorhexidine est l'absence de développement de résistances parmi les germes pathogènes.

La chlorhexidine est disponible sous plusieurs formes. Il a été montré dans une étude in vitro que la chlorhexidine en solution aqueuse a une activité plus intense que sous forme gel(17). Ceci est probablement dû à une plus grande liberté des molécules actives.

De nombreuses études ont montrées le pouvoir antibactérien de la chlorhexidine et elle est parfois utilisée comme groupe de comparaison lors d'études sur le pouvoir antibactérien de solutions. (18) Elle est également proposée comme un potentiel irrigant lors de traitement canalaire de par son activité antibactérienne, son effet rémanent et sa faible cytotoxicité.(19)

Dans des conditions de laboratoire, la chlorhexidine montre une concentration minimale bactéricide sur les principales bactéries cariogènes d'environ 150mg/ml soit une concentration de 0,15%.(20) Cette concentration est inférieure aux solutions utilisées couramment lors des études sur la désinfection bactérienne des caries par la chlorhexidine et ses effets.

Une étude in vitro recréant des caries radiculaires avec comme bactérie *Lactobacillus rhamnosus* a montré qu'un vernis de la chlorhexidine est efficace pour diminuer le nombre de bactéries.(21)

Une étude in vitro et in situ a quant à elle montré que la chlorhexidine 2% à une action immédiate sur la réduction de bactéries cariogènes sur la dentine(22)

La chlorhexidine a prouvé son efficacité in vivo en solution ou incorporer dans du CVI quant à son pouvoir antibactérien sur les bactéries cariogènes. Celui-ci est supérieur au groupe témoin(23) .Dans cette étude la chlorhexidine est rincée avant l'application du CVI

Dans la dentine, lors du processus carieux, la déminéralisation est suivie par la destruction de la matrice de collagène organique. Il a longtemps été supposé que celle-ci était dû aux protéases bactériennes. Or, les bactéries cariogènes ne dégradent pas la matrice organique après avoir déminéralisé le milieu. Les bactéries collectées depuis les lésions dentinaires ne sont pas capables de dégrader le collagène in vitro. Il a donc été pensé que cette action été le produit des protéases déjà sur place.(24) Les MMP (Matrix Metallo Proteinases) font parties d'une famille de protéase. Les MMP sont normalement sécrétées par les odontoblastes et présentes dans la dentine, ils peuvent aussi venir de la salive ou du fluide cervicogingival. Plusieurs MMP ont été identifiés dans la lésion carieuse dont les MMP 2; 8; 9 et 20. Or la Chlorhexidine inhibe l'action des MMP 2; 8 et 9(25) et pourrait donc empêcher la dégradation de la partie organique de la dentine.

De plus, l'utilisation d'acide phosphorique lors de la phase de mordantage ou de primers acide pour les systèmes auto-mordançant sur la dentine sont impliqués dans la libération de MMP et dans l'activation de ceux-ci. Ceci entraîne une dégradation de l'interface dentine/résine avec les temps et donc une détérioration de la force d'adhésion.

La chlorhexidine ne dissous pas les parties minérales et n'a pas d'action solvante sur les organismes bactériens. Elle ne peut donc pas éliminer la boue dentinaire (26) De ce fait, de ce fait même si elle est capable de détruire toutes les bactéries de par son action bactéricide, son action est limitée par la présence de la boue dentinaire présente après le débridement mécanique de la lésion.

Là encore, son utilisation après le mordantage à l'acide phosphorique est donc nécessaire pour une intégrale.

L'utilisation prolongée de chlorhexidine sous forme de bain de bouche peut entraîner une discoloration des dents vers le rouge/marron. Cependant, il n'a pas été suggéré de changement de couleur lors de l'utilisation unique de ce produit dans le cadre de la désinfection carieuse.

Le rinçage de la solution à l'eau paraît essentiel, plusieurs études évaluant le joint résine/dentine après application de divers matériaux ont trouvées une augmentation de micro défaut du joint lors de l'utilisation de la chlorhexidine. Or dans ces études, la chlorhexidine était éliminée sans eau, seulement avec de l'air pendant 5 secondes(27,28)

Chlorure de Tolonium

La première observation du processus photodynamique en médecine date d'il y a plus de 100 ans. Raab reporte l'effet létal de l'acridine et la lumière visible sur *paramecium caudatum*, c'est Von Tappeiner qui peu de temps après explique le processus de libération d'oxygène en présence de lumière et invente le terme « photodynamique ».(29) A la fin des années 80, l'apparition de bactéries multirésistantes a conduit des équipes de chercheurs à s'intéresser à nouveau à cette application. Ce processus est utilisé dans le traitement de différents carcinomes pulmonaires et œsophagiens en ciblant les cellules malignes sans avoir les effets indésirables des chimiothérapies (30). L'utilisation de la thérapie photodynamique en dentisterie est décrite pour les traitements en endodontie, parodontologie, en implantologie

ainsi qu'en chirurgie orale (31) où la destruction bactérienne est essentielle à la réussite des traitements.

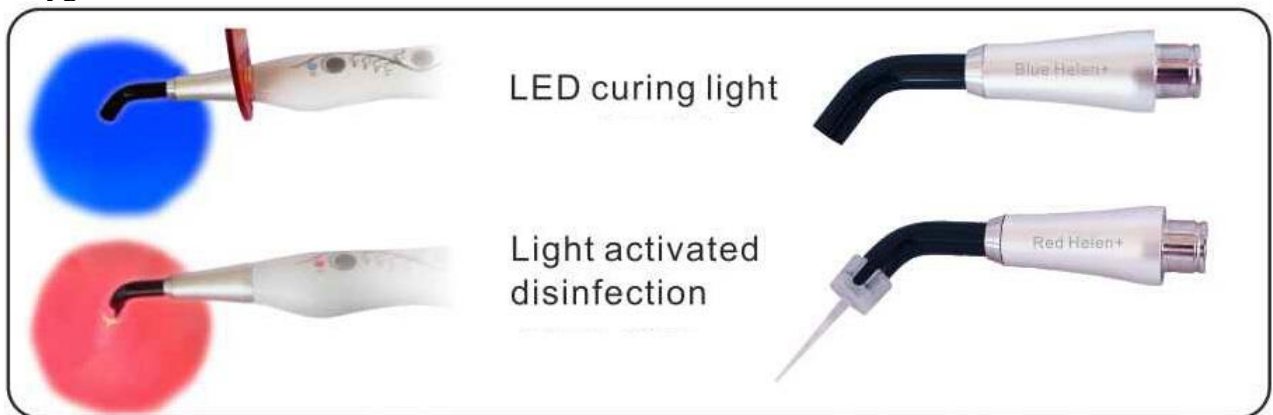
De formule chimique $C_{15}H_{16}ClN_3S$, il est également appelé bleu de toluidine. C'est un colorant basique de la famille des phénothiazines. Sa solubilité dans l'eau est de 0,1%. Il se conserve au moins un an en flacon bien fermé, à l'abri de la lumière. Il tache facilement la peau et les vêtements. (32) C'est un agent photosensibilisant utilisé dans le cadre de thérapie photodynamique.



Poudre de chlorure de tolonium

La thérapie photodynamique comprend 3 éléments

- un agent photosensibilisant, ici le chlorure de tolonium
- un appareil source de lumière pour activer le photosensibilisant, ici la longueur d'onde sera de 630 nm (orange-rouge)
- oxygène, contenue dans l'air



La source d'émission photonique peut être la même que la lampe à polymériser

Les propriétés requises pour l'agent sensibilisant sont notamment :

- un large spectre d'action (capable d'éliminer les bactéries gram +, gram -, les virus, champignons)
- pas ou peu de cytotoxicité (l'utilisation précautionneuse ne doit pas entraîner de problèmes et une erreur de manipulation ne doit pas avoir des conséquences lourdes)
- une absorption optimale à une longueur d'onde couramment utilisé (donc facilement mise en œuvre)
- produit facilement trouvable chez les distributeurs
- pas de coloration, ou maîtrisable

L'agent photosensibilisant, un fois activé par la lumière, va produire des espèces réactives de l'oxygène (tel que le radical superoxyde $O^{\circ-}$ et son acide conjugué, le radical hydroperoxyde

HO_2° , le radical hydroxyle OH° et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2) et induire la destruction des cellules par deux modes d'action : la destruction de composants essentiels, tels que l'ADN et la membrane plasmique, ou en modifiant l'activité métabolique de façon irréversible. Cette technique présente l'avantage de ne pas provoquer de résistance bactérienne(33)

De nombreuses études in vitro ont montrées que la thérapie photo dynamique a un effet puissant sur un grand nombre de bactéries gram positif et gram négatif, et ceux avec différents agents photosensibilisants et sources de lumières. Plusieurs études sur une culture de S Mutans avec TBO et une activation par LED ont été réalisées, confirmant le fait que la chlorure de tolonium peut être utile pour éliminer les bactéries cariogènes(34,35), et ce même lorsque les bactéries sont dans des matrice de collagène(36). Il est également montré dans une étude que le chlorure de tolonium est l'agent photosensibilisant (parmi d'autre classique) présentant la meilleure action sur S Mutans. (35)

Une étude in situ a été réalisée pour analyser la désinfection apportée par le chlorure de tolonium dans des conditions au plus proche de la réalité. Dans cette étude, des blocs de dentine on été fixé sur des plaques palatines portée en bouche pendant 14 jours. Un apport de sucrose était réalisé 10 fois par jour pour favoriser le développement bactérien et ainsi créé rapidement des conditions de carie dentinaire. Les blocs étaient ensuite divisés entre plusieurs groupes avec ou sans traitements. Les groupes traités étaient mis en contact 5 minutes avec le bleu de tolonium dans le noir puis exposé à une lumière émise par un LED de longueur d'onde 635nm et de puissance 150mW. Le groupe où l'exposition à la lumière était de 5 minutes présente une réduction du total bactérien d'un log 4,29, celui avec une exposition de 10 minute une réduction avec un log 5,43 (37)

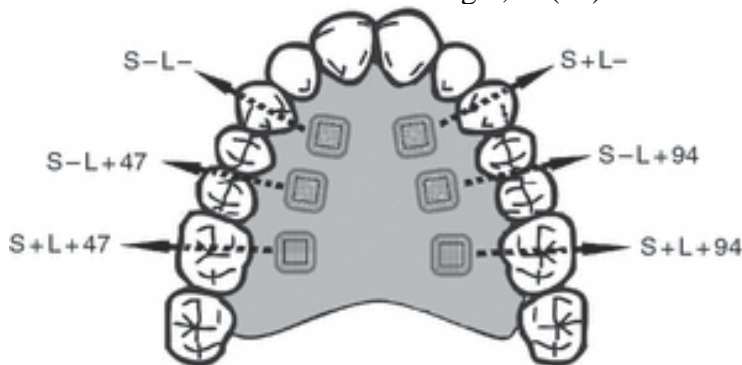


Illustration des blocs de dentine dans la plaque palatine

En ce qui concerne la pénétration de l'agent dans la dentine, une étude a mesuré la profondeur de pénétration sur des blocs de dentine en laboratoire mais aussi mise en bouche sur une plaque palatine pour plus de ressemblance avec les conditions réelles. Les blocs ont été mis en contact avec S Mutans et une solution de chlorure de tolonium à une concentration de 0,01 % a été appliquée pendant 5 min. il a été mesuré une profondeur de pénétration d'environ 50µm quelque soit le protocole. Il semble donc que le chlorure de tolonium ne reste pas seulement en surface mais peut s'infiltrer dans les tubuli et donc atteindre des bactéries en profondeur. La limitation de cette étude concerne le fait que la condition après débridement mécanique avec présence de smear layer n'est pas été testé. (38)

Protocole d'utilisation

Pas de procédure officielle cependant la totalité des articles lues lors de ce travail de recherche utilise le protocole suivant lors de test en conditions réelle.

- Désinfection photo activé : application d'agent photosensibilisant pendant 60s puis irradiation lumineuse pendant 60s à l'aide de LED de longueur d'onde 630nm et de puissance 150mW
- Rinçage à l'eau distillé
- Protocole de collage

Fluorure diamine d'argent

Le premier article scientifique témoignant de l'utilisation du fluorure diamine d'argent date de l'année 1969 par le japonais Yagama. Le fluorure diamine d'argent est utilisé dans des pays tels que le Brésil, l'Argentine, le Japon depuis de nombreuses années. En 2014, la Food and Drug Administration (FDA) délivre une autorisation de mise sur le marché aux États-Unis pour le traitement de l'hypersensibilité dentinaire avec le fluorure diamine d'argent. Un usage hors-préconisation dans le cadre du traitement des lésions carieuses en a rapidement été fait et le produit connaît un regain d'intérêt depuis.

Le fluorure diamine d'argent est un composé chimique de formule $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$. Le composé AgF n'étant pas stable chimiquement, les deux fonctions amines sont ainsi nécessaires à sa composition. Il se présente sous la forme d'un liquide photo-sensible avec une odeur d'ammoniaque et sans couleur.

Une partie de ces propriétés est dû à la présence d'argent et de fluor

L'utilisation de l'argent comme antiseptique date de l'antiquité et son pouvoir est démontré au XIX^e siècle. L'argent se lie au groupement sulfhydryle des acides aminés et nucléiques bactériens. Ce qui induit une inhibition des fonctions métaboliques et reproductrices, menant à la mort bactérienne(39) . Il a notamment été utilisé dans l'amalgame ainsi que dans les cônes d'argent en endodontie.

Le fluor est connu pour sa protection contre les caries dentaires, par son incorporation dans les cristaux d'hydroxyapatite les rendant moins soluble par la dissolution acide, et car le fluor est aussi impliqué dans l'inhibition de la production de lactate par les bactéries. Le fluor a été incorporé aux dentifrices, sous forme de fluorure, depuis la fin du XIX^e siècle

Il existe sur le marché mondial sous trois principales formes, contenant chacune une concentration en principe actif et en ions fluorure différente (40) :

- une spécialité concentrée à 12% et contenant 14200 ppm de fluor
- une à 30% et contenant 35400 ppm de fluor
- une à 38% et contenant 44800 ppm de fluor

Le dosage à 38 % a montré une meilleure efficacité que le dosage à 12 % (41)

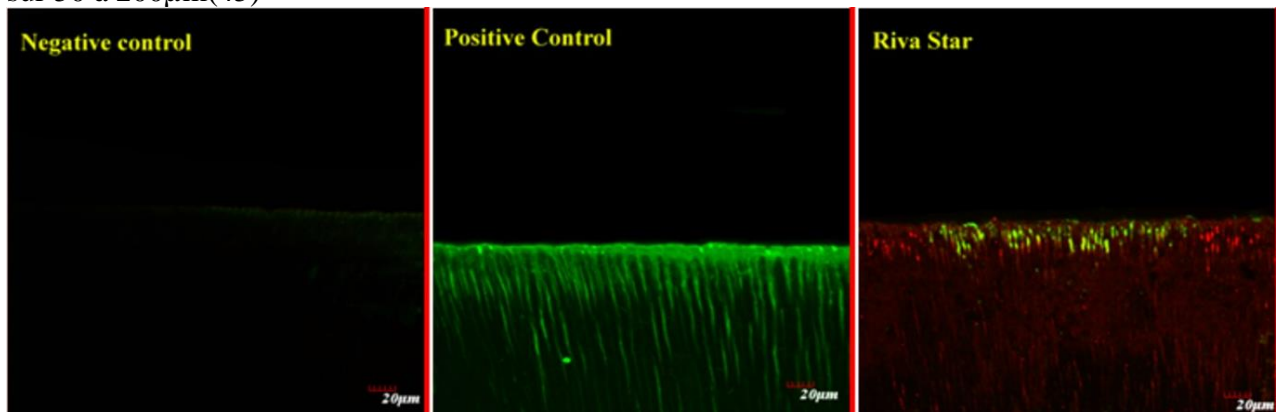


Riva Star, spécialité à 38% et iodure de potassium

Le fluorure diamine d'argent a pour première indication le traitement contre les sensibilités dentaires. L'hypersensibilité se caractérise par des douleurs en réponse à des stimuli normalement non douloureux. Elle est associée à une exposition des tubuli dentinaires. Un type de traitement possible contre ceci consiste donc à obturer ces tubuli, notamment via des sels ioniques, vernis fluorés ou résines composites. L'application de fluorure diamine d'argent entraîne une hyperminéralisation de la dentine intertubulaire et une obturation des tubuli.(42)

De nombreuses études ont montrées le pouvoir antibactérien du fluorure diamine d'argent sur des bactéries sous forme planctonique. Des études ont également montrées que le fluorure diamine d'argent est actif sur les bactéries cariogènes. Son action est également présente lorsque celle-ci sont organisées en biofilm et donc plus résistante (43)

L'utilisation de fluorure diamine d'argent in vitro a montré un pouvoir à détruire des bactéries même lorsque celles-ci sont dans les tubuli dentinaire(44) ceci peut notamment se comprendre aux vues du fait que le fluorure diamine d'argent est capable de pénétrer dans la dentine cariée sur 50 à 200µm(45)



Resultat de test in vitro. bacteries vivantes en vert, mortes en rouge)

Il s'est par ailleurs avéré in vitro que la dentine déminéralisée traitée au fluorure diamine d'argent est plus résistante à la colonisation bactérienne que la dentine non traitée. En effet, les ions fluorures et argent se retrouvent dans la dentine déminéralisée de façon significativement plus importante (46)

Le fluorure diamine d'argent a la capacité d'arrêter les caries actives. (47) Ceci serait dû à son action antibactérienne et également à son inhibition de la déminéralisation. Des études ont montré le rôle inhibiteur du fluorure diamine d'argent sur les MMP 2; 8 et 9 ainsi que sur les cathepsines B et K ; ces molécules figurant parmi les principales rencontrées dans les lésions carieuses et sont des enzymes protéolytiques impliquées dans la dégradation du collagène (48). Il est donc possible de ne pas restaurer immédiatement. Le fluorure diamine d'argent serait de plus capable de permettre la reminéralisation de la dentine. Son application dans ce cadre est conseillée tous les 6 mois si la lésion n'est pas restaurée.

Une recommandation datant de 2016 sur l'utilisation du fluorure diamine d'argent à inclus plusieurs cas (49)

- pour les patients avec risque carieux élevé (xérostomie ou sévères caries précoces de l'enfant)
- pour les patients ne pouvant tolérer la conduite de soins conventionnelle (raison psychologique ou médical)
- patient présentant de nombreuses caries impossibles de soigner en une seule séance
- difficulté à traiter la lésion (caries radiculaire, éruption non fini...)



A gauche carie traitée, à droite situation initiale

Procédure d'application

- protection patient (à minima coton salivaire)
- nettoyer les dents avec une brosse et une pâte non fluorée
- seules les dents dont la lésion carieuse est solide peuvent être traitées, il faut donc éliminer la partie nécrotique avant (possibilité de faire ceci sans instrument rotatif)
- application d'acide phosphorique pendant 5 secondes
- rinçage à l'eau et à l'air sans assécher
- application du fluorure diamine d'argent à l'aide d'une brosse pendant 60s
- si utilisation, application de l'iodure de potassium avec brosse
- rinçage au moins 10 secondes et séchage sans assécher
- application de la restauration

2/Moyen physique

Nous allons ici nous intéresser au LASER, particulièrement le LASER Er:yag.

LASER Er:yag

Le mot LASER est l'acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Un laser est un appareil produisant un rayonnement électromagnétique amplifié par émission stimulée et ainsi, il n'émet qu'une seule longueur d'onde. En 1960, le physicien Américain Théodore Maiman obtient pour la première fois une émission laser au moyen d'un cristal de rubis comme amplificateur. Les premières utilisations en médecine du traitement par laser débuteront dès 1961 et c'est en 1963 qu'il est expérimenté pour la première fois sur la carie dentaire. Les évolutions techniques et les nouvelles longueurs d'onde vont démocratiser son utilisation à partir des années 1970 en médecine et 1990 en odontologie.

Le laser ayant un usage universel n'existant pas, les lasers sont classés en fonction de la nature du milieu excité (cristal, gaz) et de leur nocivité pour la vue qui est fonction de leur puissance et de leur longueur d'onde.

Les applications cliniques vont dépendre de la longueur d'onde choisie.

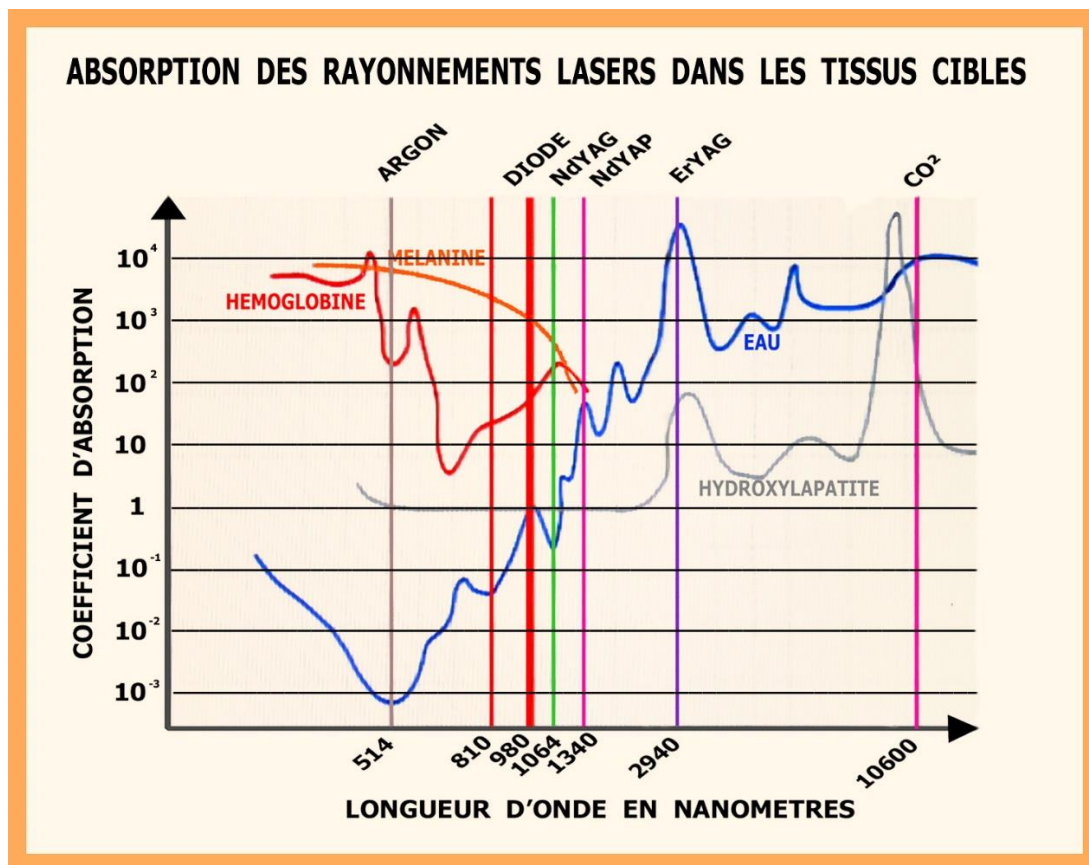
Les effets biologiques des rayonnements lasers dépendent de :

- Leur longueur d'onde,
- La durée d'exposition,
- L'énergie délivrée,
- La nature du tissu exposé,
- L'absorption du rayonnement par le tissu exposé

C'est le laser Er:yag (laser à l'état solide dont le milieu actif est un grenat d'aluminium et d'yttrium dopé à l'erbium) qui est utilisé en dentisterie restauratrice. Il émet un rayon d'une longueur d'onde de 2940 nm et est donc invisible. Cette longueur d'onde correspond à une forte absorption par l'eau et par l'hydroxyapatite. L'émission de ce laser se fait par impulsions dont la fréquence peut être modulée entre 4 et 50Hz.



Appareil LASER Er:YAG (Kurtzman)



Courbe d'absorption pour les tissus présents dans la carie

On observe plusieurs manifestations de l'effet thermique du laser sur les tissus biologiques. De par son spectre d'absorption, c'est l'effet photo-ablatif qui est largement dominant sur le laser Er:yag. Cet effet est également surnommé l'effet bistouri. L'absorption rapide de l'énergie produit une vaporisation de l'eau et donne lieu à une micro explosion. C'est cette explosion qui produit le claquement sonore particulier à son utilisation.

L'effet photo-ablatif a l'avantage d'être plus efficace sur les tissus cariés car ceux-ci ont une plus grande proportion d'eau. Il est ainsi admis que le laser Er:yag peut permettre une éviction des tissus cariés en préservant les tissus sains.

Cependant, le traitement est de l'ordre de 10 % plus long qu'avec une fraise à faible vitesse.(50) Ceci ainsi que le coût élevé ne permettent pas de choisir le laser uniquement pour une simple préparation.

Ce laser présente l'avantage de baisser la dose d'anesthésie nécessaire voir d'éviter son utilisation(51)

Le laser Er:yag possède également un effet bactéricide. En effet, la destruction du milieu n'est pas le seul effet entraîné par le laser, il permet également la destruction des bactéries présentes, peu importe leur genre.

Il a été montré que le laser Er:yag a l'effet bactéricide le plus important parmi d'autres lasers, dont le laser Er:ysgg(erbium :yttrium-scandium-gallium-garnet) qui possède par ailleurs des propriétés proche de Er:yag(52)

L'augmentation de la puissance du laser entraîne d'ailleurs une augmentation de la stérilisation de la structure dentaire (53)

Une étude microscopique de la surface laissée après traitement par laser montre que les surfaces sont comparables à celles obtenues après un mordantage à l'acide phosphorique. Elles sont irrégulières, sans boue dentinaire et les orifices des tubuli dentinaires sont ouverts.(54)

3/Les matériaux

Nous allons étudier des matériaux qui répondent aux conditions d'utilisation d'un matériau de restauration en technique direct :

- Bonne propriétés mécaniques (dureté, résistance à la traction...)
- Permettre l'étanchéité de la restauration
- Longévité
- Facile d'utilisation (stockage, mise en forme, aptitude au polissage...)
- Permettre une restauration esthétique (cliniquement acceptable)
- Possibilité de réfection
- Compatibilité avec d'autres matériaux
- Être radio-opaque

Liste à laquelle sera ajouté ici

- Potentiel antibactérien prouvé ou supposé
- Matériaux définitifs

Le CVI

Le ciment verre ionomère ont été mise au point en 1972 par Wilson et Kent dans le but de pallier aux inconvénients des matériaux disponibles utilisés depuis le début du siècle pour les restaurations antérieures

Le CVI résulte de l'action d'un acide sur une base. Il se présente majoritairement sous forme poudre / liquide (fluoro-alumino-silicate)/(solution aqueuse d'acide polyalkénoïque).

Lors du mélange, le verre est attaqué par l'acide polyacrylique et réagit en libérant des ions métalliques Ca^{2+} (issus du CaF_2) et Al^{3+} (issus de Al_2O_3), qui se lient aux anions carboxyles des molécules de copolymère pour former des polyacrylates de Ca^{2+} et Al^{3+} .

Un adhésif n'est pas nécessaire, en effet, les CVI collent à la dent principalement grâce à une composante physico-chimique. On pense que l'adhésion se fait par interaction de type ionique entre les charges négatives des polyacides de la matrice et les charges positives de l'hydroxyapatite.

L'action antibactérienne de ce type de matériaux s'appuie donc sur la propriété antibactérienne du fluor. En effet, le CVI libèrent des ions fluorures dans la salive et vers la dent, et ce, pendant et après leur réaction de prise. Le pic de libération des ions fluor a lieu dans les premières heures de la mise en place du CVI.

Le taux de fluor dans la plaque bactérienne au contact de CVI est plus fort que dans celle au contact d'une composite, ceci semble affecter le taux de S Mutans dans la plaque dentaire.

(55) La plaque dentaire semble d'ailleurs moins s'accumuler sur le CVI que sur du composite.

(56)

En termes de matériaux dentaire, la bioactivité a été référée à la capacité de produire des cristaux d'hydroxyapatite à l'interface entre la surface du matériau et des tissus dentaires. De ce point de vue, les CVI n'ont pas de bioactivité (57)

Le CVI est recommandé pour les patients à haut risque carieux (58)

Le CVIMAR

Les CVI modifiés par ajout de résine ont été introduit pour pallier aux défauts majeurs des CVI traditionnels (faibles propriétés mécaniques notamment). Depuis la fin des années 80, nous assistons au développement de CVIMAR commercialisés sous les noms de Fuji II LC (CG) ; Photac Fil (3M-ESPE)... C'est cette famille de CVI qui est aujourd'hui la plus utilisée. Dans leur forme la plus simple, ils correspondent à un CVI modifié par l'incorporation de petites quantités de résine comme HEMA et BisGMA. Le CVIMAR aura donc deux matrices qui s'interpénètrent (matrice de polyacrylate et matrice résineuse). La cohésion se fait par la présence de liaisons hydrogène.

Le CVIMAR a donc deux types de prises :

- une réaction acide-base commune aux CVI conventionnelles
- une réaction de polymérisation, qui s'apparente à celle des résines composites. Cette réaction est initiée par la lumière.

Ce matériau, de par l'ajout de résine, relâche des monomères comme HEMA ou TEGDMA. De ce fait, les CVIMAR ne peuvent pas être considérés biocompatible dans la même mesure que le CVI conventionnelle.(59) En effet, ces molécules peuvent diffuser à travers les tubuli et atteindre la pulpe, provoquant une inflammation. Ceci d'autant plus que la dentine résiduelle est fine.

Comme pour le CVI conventionnelle, le CVIMAR libère du fluor. La quantité de fluor relarguée dépendant de la concentration initiale en fluor, de la composition de la poudre, de la porosité du matériau. Il y a des différences selon les produits à ce niveau, ce qui ne permet pas de différencier les CVIMAR des CVI conventionnelles de ce point de vue (60)

Une étude in vitro utilisant le « agar diffusion test » confirme l'activité antibactérienne des CVI conventionnels, modifiés par ajout de résine ou condensables. Ici c'est le CVIMAR qui présente la meilleure activité antibactérienne contre les bactéries testées, ce peu importe si le matériau a été photopolymérisé ou pas (61)

Propriétés mécaniques	valeurs
Résistance à la compression (MPa)	100-200
Résistance à la flexion (MPa)	30-60
Module d'élasticité (GPa)	16
Valeur d'adhésion (MPa)	4-6

Propriétés mécanique CVIMAR

Propriétés mécanique	valeurs
Résistance à la compression (MPa)	297
Résistance à la traction (MPa)	98,7
Module d'élasticité (GPa)	18,3

Propriétés mécanique de la dentine

Les valeurs sont plus faibles que pour la dentine mais supérieur aux CVI conventionnelles. Ces qualités mécaniques ne permettent pas d'indiquer le CVIMAR pour toutes les situation cliniques.

Le CVI HV

Les CVI de haute viscosité ou condensables

Développés dans les années 90 en espérant en faire une alternative à l'amalgame, ce sont des CVI traditionnels qui ont été rendus visqueux par une nouvelle distribution de la taille des particules ainsi que par l'addition d'acide polyacrylique lyophilisé dans la poudre. Ils sont moins sensibles que les CVI traditionnels à l'équilibre hydrique mais il est toutefois conseillé de les recouvrir d'un vernis.

On peut citer Fuji IX (GC); HiFi (Shofu); Ketac Molar (3M-ESPE)

Leur mise en place est très aisée, ce qui les indique dans les situations cliniques difficiles (pédodontie, dentisterie humanitaire avec ART ...)

Comme ces CVI ne possèdent pas de matrice résineuse, la copolymérisation avec un adhésif ne peut pas de faire.

Le CVI HV (fuji IX) relâche au sein de la salive une plus importante quantité de fluor que le CVIMAR (fuji LC) dans les premiers jours. Les quantités diminuent et se stabilisent à un taux égal avec le temps. Aucun changement dans la concentration de fluoroapatite au niveau de la substance dentaire adjacente n'est retrouvé, ce qui signifie que le CVI HV n'est pas littéralement bioactif .(62)

Propriétés mécanique	valeurs
Résistance à la compression (MPa)	126-177
Résistance à la flexion (MPa)	100
Module d'élasticité (GPa)	12
Valeur d'adhésion (MPa)	4-6

Propriété mécanique CVI HV

Les propriétés mécanique des CVI haute viscosité restent inférieure à celle de la dentine. Cependant, la résistance à la flexion est bien supérieur comparé aux CVIMAR, ce qui lui donne de meilleurs avantages au niveau du groupe incisivo-canin où ces forces sont plus présentent.

Composite activa

Activa est un matériau de restauration présenté par son fabricant (Pulpdent) comme bénéficiant des avantages des CVI (bioactivité) et des composites (esthétique, propriétés physique) sans leurs inconvénients. (63) Il est disponible sous plusieurs forme (restauration, fond de cavité, kids et ciment) variant légèrement dans leur composition et donc dans leurs propriétés.

Il contient 3 composants clé :

- Matrice de résine ionique « bioactive »
- Composant en résine caoutchoutée qui absorbe les chocs
- Charges réactives de verre ionomère

Il se lie chimiquement à la dent grâce à un processus d'ionisation qui dépend de l'eau, les ions d'hydrogène se détachent des groupes de phosphates et sont remplacés par du calcium dans la structure dentaire. Un mordantage de 10 secondes à acide phosphorique est recommandé pour améliorer l'adhésion.

Il se présente en seringue avec embout mélangeur, et peut être auto ou photo polymérisable.

Activa est annoncé par son fabricant comme relarguant plus de fluor qu'un CVI. Le matériau relèguerait également des ions phosphate et calcium. Le calcium et le phosphate entrant dans la composition de l'hydroxyapatite, il est aussi également annoncé comme bioactif.

Cependant, malgré les promesses faites par le fabricant, plusieurs études viennent contredire ces affirmations.

Une étude in vitro n'a pas mise en évidence la formation d'apatite, ce qui aurait été une preuve de bioactivité. De plus le fluor relâché a été trouvé significativement moins important que pour un cvi conventionnelle(64). Ceci est trouvé également dans une autre étude(65)

Une autre étude in vitro avec « direct contact test » sur S Mutans a été réalisée pour mesurer l'activité antibactérienne de plusieurs matériaux donc activa. Une comparaison a notamment été réalisée avec un composite et un cvi. Lors de ce test, activa a montré une faible capacité antibactérienne. (66) Une étude avec « agar diffusion test »(67) trouve elle aussi une faible activité antibactérienne de activa

Propriétés mécanique	valeurs
Résistance à la compression (MPa)	210
Résistance à la flexion (MPa)	88,4
Valeur adhésion (MPa)	37

Propriété mécanique composite activa

Les propriétés mécanique d'activa sont donc proches de celles d'un composite classique ainsi que pour la valeur d'adhésion. Ceci situe ce matériau bien au-dessus des CVI d'un point de vue mécanique.

Malgré des propriétés annoncées « miraculeuses » par le fabricant, Activa ne semble pas supérieur au niveau de sa biocompatibilité ni d'un point de vue antibactérien que d'autre composite classique.

Composites chargés en ion

Les composites sont les matériaux les plus couramment utilisés pour les restaurations dentaires en clinique du fait de leur esthétique. Ils remplacent l'amalgame qui, avec son apparence métallique n'est pas désiré par les patients. Devant l'incapacité des composites à avoir une action antibactérienne, plusieurs essais d'incorporation d'agent antibactérien ont été réalisés dans le but de donner une activité antibactérienne au composite.

La modification de la résine peut se faire par deux méthodes :

- L'addition d'agent antimicrobien soluble
- L'immobilisation de composant antibactérien dans la matrice résineuse

Les composites que nous allons voir sont des composites chargées en ions, donc appartenant à la première famille.

Plusieurs ions ont été ajoutés dans le but d'être relargués par le matériau et ainsi avoir la capacité anti microbienne de ces ions. On peut citer notamment :

- L'argent
- Le zinc
- Le cuivre

L'incorporation d'agent, donc la modification du matériau, pose le problème des propriétés mécaniques. (68) De plus, il est évident que le relâchement de l'agent produit une structure poreuse du matériau.

Comme pour le cvl, un contrôle strict de la vitesse de relâchement de l'agent par simple dispersion est difficile, et on ne peut pas espérer un relâchement à long terme.

Le relargage des ions est assez faible, l'incorporation de 20% ou plus d'argent-zeolite ou 10% ou plus d'argent-apatite est nécessaire pour donner un pouvoir antibactérien clair.(69) Un tel ajout d'ion peut avoir des conséquences sur les propriétés physiques des matériaux. Une étude sur ce sujet a été menée et conclut que l'ajout d'argent zeolite n'affecte pas les propriétés des matériaux. Or, dans cette étude, les proportions testées sont de quelques pourcent au maximum et la dose suggérée est de 2%, soit 10 fois moins que le minimum pour avoir une activité antibactérienne.(70) Ceci ne permet pas de conclure sur l'impact de l'ajout d'ion argent à des proportions efficaces sur les bactéries sur les propriétés mécaniques du composite modifié.

Pour le zinc, une étude sur les propriétés antibactériennes ainsi que les conséquences d'ajout d'oxyde de zinc sur les propriétés mécaniques de composites enrichis montrent qu'une addition de l'ordre de 13% de masse entraîne un effet antibactérien important sans perturber les propriétés mécaniques du composite. (68)

Adhésif anti bactérienne

L'adhésif a aussi été étudié dans la recherche d'activité antibactérienne. L'hypothèse est la suivante, si le système de collage peut montrer des effets antibactériens, le fait qu'il soit en contact direct avec la dent rend celui-ci idéalement placé pour lutter contre les bactéries encore présentes dans la cavité.

Mise au point dans les années 1990, le 12-méthacryloyloxydodecylpyridinium bromide (MDBP) a été synthétisé à partir d'un ammonium quaternaire et d'un groupe méthacryloyl.(71)

Le MDPB est un monomère qui, copolymérisé avec d'autres monomères après durcissement du matériau dans lequel il est inclus, se lie de façon covalente au réseau de polymère.

Le MDPB montre des propriétés antibactériennes lorsqu'il n'est pas polymérisé.(72) A forte concentration, il entraîne une destruction de la membrane bactérienne. Le groupe pyridinium du MDBP étant chargé positivement et les structures de la bactérie généralement chargées négativement, les bactéries sont attirées automatiquement par le MDBP. Elles perdent ensuite leur balance électrique, détruisant la membrane cellulaire de la bactérie. À faible concentration, il inhibe l'activité du métabolisme enzymatique.

Il est incorporé dans des résines composites qui ne relâchent pas l'agent antibactérien, ceci dans le but de prévenir des effets toxiques. L'incorporation de composants immobilisés a également l'avantage comparé à celle d'agents solubles de maintenir les propriétés mécaniques dans le temps. Il a été montré que l'incorporation de MDPB n'a pas d'influence sur la dureté ainsi que sur la profondeur de polymérisation pour un composite (73).

Ce monomère est présent à hauteur de 5 % de la masse pour l'adhésif Clearfil Protect Bond. Le Clearfil Protect Bond est un système adhésif automordancant de type SAM2.

Une étude *in vitro* dans le but de déterminer la concentration bactéricide minimale de MDBP sur des bactéries cariogènes a démontré la destruction de toutes les bactéries étudiées rapidement dans une solution saline pour une concentration supérieure à 4 fois la concentration minimale inhibitrice. Une concentration minimale de 500µg/mL est nécessaire pour tuer toutes les bactéries présentes en 1 minute. (74)

Cependant, *in vitro*, il n'a pas été montré de différence significative dans la réduction du nombre de bactéries *S Mutans* organisées en biofilm pour une application de Clearfil Protect Bond de 20 secondes par rapport à une solution saline comme groupe témoin. La différence n'apparaît qu'après des temps d'application de 90 secondes. (75)

Le composant a une action bactéricide lorsque l'adhésif n'est pas polymérisé mais est immobilisé une fois celui-ci polymérisé. L'agent immobilisé ne se diffuse pas hors du matériau mais agit comme un inhibiteur de contact contre les bactéries à son contact. Les matériaux avec l'agent bactéricide immobilisés montrent un effet d'inactivation seulement contre les bactéries en contact avec les molécules antibactériennes, donc son effet n'est pas capable d'atteindre les zones autour de l'adhésif.(69)

III/Conséquences de différentes méthodes

Diminution des bactéries

Bien que les solutions précédemment citées montrent une grande efficacité sur les bactéries sous forme planctonique ou lors de test *in vitro* sur des blocs de dentine, la désinfection peut être moindre *in vivo*. Les conditions différentes entre ces expérimentations (utilisation de genre de bactéries restreinte, méthode de « cultivation » des cellules...) et la réalité peuvent expliquer ceci. Il est ainsi important de regarder des résultats *in vivo* pour voir si le pouvoir désinfectant *in vitro* des solutions étudiées est toujours d'actualité lorsque les conditions se rapprochent plus de la réalité clinique.

In vivo, la chlorhexidine montre une activité antibactérienne.

Une étude a été menée comparant la réduction bactérienne après traitement de caries sur dents lactéales avec la technique ART. Les lésions étaient profondes d'environ 3 mm, ce qui situe logiquement le fond de cavité dans la dentine. Les groupes étaient traités par excavation manuelle puis restauration avec du CVI. Un échantillon de dentine affecté été alors prélevé à l'aide d'une curette stérile et une numération des bactéries était effectuée. Dans un groupe, les cavités étaient alors restaurées à l'aide de CVI, dans l'autre, une désinfection en plaçant un coton imprégné d'une solution de chlorhexidine à 1 % pendant 1 minute été effectuée. La cavité était ensuite séchée et la restauration effectuée. Après 3 mois et dépose du matériau de restauration, un nouveau prélèvement était alors effectué pour déterminer la réduction bactérienne. Le groupe ayant bénéficié de la désinfection à la chlorhexidine montre une réduction significativement plus importante que le groupe témoin(23)(réduction d'environ 60% pour le groupe chlorhexidine)

Dans une étude où après débridement de la carie par méthode ART, le nombre de bactéries est mesuré avant et juste après la désinfection. Le groupe qui a bénéficié d'une désinfection à l'aide de chlorhexidine 2% pendant 20s présente une diminution de la charge bactérienne de l'ordre de 95%.(76)

Pour le chlorure de tolonium, plusieurs études(77,78) ont été réalisées in vivo en comparant le nombre de bactéries après débridement mécanique et avant restauration. Un groupe témoin et un groupe bénéficiant de désinfection par photo-activation ont été comparés. Le protocole de désinfection photo-activée été une mise en contact durant 5 minutes avec du chlorure de tolonium à 0,01 % puis une irradiation d'une minute à 150mW. Pour le groupe témoin, le chlorure de tolonium était remplacé par une solution de NaCl à 0,9 % (solution physiologique) et les temps étaient les mêmes. Le groupe bénéficiant de la désinfection photo-activée montre une diminution d'environ un 90 % (log1) ce qui est significativement supérieur au groupe témoin.

Une revue systématique de la littérature a été effectuée en 2016 avec pour sujet l'efficacité de la désinfection photo-activée. Avec des réductions bactériennes allant de 0,9 à 2,5 log, elle en conclue que l'utilisation de désinfection photo-activée apporte un complément au traitement des caries profondes en termes de réduction bactérienne. Cependant, il faudrait des comparaisons avec des techniques standards de désinfection cavitaire pour fournir des données utiles pour l'évaluation clinique. (79)

Cependant, la FDA et ISO établissent le critère de réduction de log3 (99,9 %) comme action minimal pour être considéré comme un agent antibactérien cliniquement efficace. De ce fait, bien que les solutions présentées aient un pouvoir antibactérien reconnu in vitro, et qu'elles possèdent un pouvoir antibactérien significatif vis à vis des groupes témoins, une réduction bactérienne de 99,9 % n'est pas atteinte dans les tests in vitro.

L'efficacité des matériaux ne peut quant à elle pas être mesurée in vivo sans dépose de celui-ci.

Dans ce travail, les matériaux étudiés ne sont pas censés être retirés sans problème clinique. De ce fait, peu d'études ont été réalisées in vivo et l'on connaît mal ce qui se passe sous les matériaux lorsqu'ils ne sont pas déposés.

Lors d'une étude précédemment citée, le groupe test est un groupe traité uniquement à l'aide de CVI fuji IX donc haute viscosité. Ce groupe montre une réduction d'environ 40 % du total bactérien. Cependant de par l'absence de comparaison, il est impossible de conclure que la

diminution bactérienne est dû aux propriétés antibactériennes du CVI. En effet, le fait de sceller la cavité peut être un facteur influençant le nombre de bactéries.

Les matériaux comprenant un agent bactéricide immobilisé montrent une inactivation des bactéries seulement quand celles-ci sont en contact avec le matériau, donc son effet n'est pas capable d'atteindre les zones autour du matériau. De plus, l'effet du composant antibactérien est principalement bactériostatique du fait que l'agent ne peut pas pénétrer à travers de la membrane cellulaire comme un agent antimicrobien libre. De ce fait, les effets antibactériens de l'adhésif contenant du MDPB ne sont pas aussi important que si l'agent était relâché.

Le laser quant à lui, de par sa nature, élimine théoriquement 100 % des bactéries lors de l'élimination de la dentine. Aucune étude *in vivo* n'a été réalisée dans le cadre de l'odontologie restauratrice et on ne peut pas confirmer ceci.

Les tissus dentaires

L'utilisation de protocoles de désinfection, si elle est susceptible d'apporter le bénéfice de la diminution bactérienne ne doit pas entraîner de conséquences sur les tissus dentaires et sur le collage des matériaux.

Chaleur

L'augmentation de température dû à l'utilisation de LED semble être mineur. Dans une étude sur la désinfection endodontique avec désinfection photo-activée avec une activation lumineuse LED de puissance 100mW pendant 150s, l'augmentation de température est de 0,16°C. (80) Dans plusieurs études *in vitro* où la température n'est pas mesurée, l'activation lumineuse se fait à 150mW sur 60s. Il semble donc raisonnable de penser que la température n'est pas plus élevée et donc est un facteur inoffensif pour les tissus vivant ou le collage. Une valeur admise de dommage de la pulpe est une augmentation de 10°F, soit environ 5,5°C.(81)

Le principe d'action du laser peut laisser penser à des conséquences pulpaires dû à la chaleur. Bien que la plupart des radiations sont absorbés par l'eau de la dentine à très faible profondeur, la conduction thermique ne peut être totalement évité. L'utilisation d'un spray air/eau est donc nécessaire. Il a été montré que l'utilisation du laser avec le spray n'entraîne pas une hausse significative de la température par rapport à une utilisation d'instruments rotatifs haute-vitesse avec spray(82,83) L'augmentation de température restant en deçà de la limite de 5,5°C. Il est à noter que le spray eau/air utilisé lors de ces études est beaucoup moins important pour le laser comparé à la turbine.

Pulpe

J.P. ATTAL estime que la toxicité d'un matériau vis à vis de la pulpe est surtout fonction de l'étanchéité qu'il procure sur la périphérie cavitaire.(84)

Cette vision ne prend pas en compte la diffusion de monomères non polymérisés et autre diffusion d'ions à travers les tubuli et ce d'autant plus que la dentine résiduelle est fine.

Lors d'études sur la réponse pulpaire aux matériaux et solutions, des cavités sont réalisées sur des dents saines. La cavité est profonde de telle sorte que l'on peut voir la pulpe en transparence de la dentine, ce qui laisse supposer une épaisseur de 0,25/0,5mm. Par la suite, le fond de cavité est restauré par le matériau que l'on veut tester et la partie coronaire par un

matériau étanche. Les dents sont extraites après un temps déterminé à l'avance, les tissus mous sont fixés avec du formol, puis la pulpe en regard du matériau est analysée au microscope. Les dents sont souvent des prémolaires qui doivent être extraites pour raison orthodontique. Les études sont donc réalisées sur des pulpes jeunes.

Dans une étude, Korwar n'a pas trouvé de réponse inflammatoire pulpaire pour des matériaux à haut taux de relâchement de calcium. Pour ceci du CVI de type VII et un mélange de fluorure diamine d'argent et d'oxyde de zinc ont été placés dans le fond des cavités, alors que l'épaisseur de la dentine était comprise entre 0.25 et 0.5mm. Les études histologiques étaient réalisées 6 semaines après la mise en place des matériaux. (85)

Dans une étude réalisée sur des molaires supérieures de rat, les cavités sont restaurées avec du CVI haute viscosité et l'analyse histologique faite pour certaines dents à 8 jours et pour d'autres à 30. Les résultats montrent une légère inflammation de la pulpe à 8 jours mais pas à 30 jours. (86)

Lors d'une étude sur la réaction pulpaire aux matériaux à base de résine, des signes d'inflammation sont trouvés pour l'adhésif à 7 jours mais pas pour le CVIMAR. L'inflammation n'est pas ou peu présente à 30 jours. (87)

En cas d'exposition pulpaire, le CVIMAR en contact direct avec la pulpe entraîne une inflammation importante de celle-ci. (59)

Ces études montrent que l'inflammation pulpaire si elle est présente, est raisonnable et réversible dans de bonnes conditions d'utilisation des matériaux.

Une étude a été réalisée in vivo sur des dents saines. Des cavités de classe V ont été produites sur ces dents à proximité de la pulpe dentaire, puis un coiffage indirect a été posé à l'aide de fluorure diamine d'argent mélangé à de l'oxyde de zinc. Les dents ont été extraites 6 semaines plus tard dans le cadre d'un plan de traitement d'orthodontie, puis ont été analysées. L'expérience a montré l'absence de réponse inflammatoire après un traitement au fluorure diamine d'argent. Ce qui laisse entrevoir son innocuité relative par rapport à la pulpe dentaire. (85)

Collage

La désinfection dentinaire pourrait favoriser la pérennité des restaurations. Cependant les méthodes de désinfection ne doivent pas interférer avec l'adhésion des matériaux de restauration.

Hypochlorite de sodium

L'application d'hypochlorite de sodium sur la dentine peut avoir une influence sur la qualité du collage. Une étude ex vivo comparant l'adhésion avec des adhésifs SAM avec ou sans application d'hypochlorite de sodium a montré que l'application de celui-ci pendant 30 secondes sur la dentine intacte peut décroître l'adhésion lors de son utilisation avec rinçage à l'eau, mais il n'y a pas de changement avec une application pendant de 15 secondes ou lors d'une application pendant 30 s avec application d'un agent anti oxydant. De plus sur la carie affectée, où la force d'adhésion est moins grande que sur carie saine, l'application

d'hypochlorite de sodium pendant 15 secondes ou pendant 30 secondes avec agent antioxydant augmente la force alors que l'utilisation d'hypochlorite de sodium seul pendant 30 secondes ne la fait pas varier.(88)

Au regard de son action, l'augmentation de la force d'adhésion à la dentine après application d'hypochlorite de sodium a été attribuée à son action déprotéinisante. Appliqué après le mordantage, il élimine la couche de collagène. Ceci a pour effet de permettre l'adhésion direct entre l'adhésif et la dentine sans couche hybride. D'après Prati et al, l'hypochlorite produit un nouveau mécanisme inhabituel de rétention micromécanique de résine dans la dentine minéralisée appelle "reverse hybrid layer formation". Ceci entraînerait l'augmentation de la force de collage lors de ce protocole. (89)

D'un autre côté, différents mécanismes ont été suggérés pour les effets négatifs de l'hypochlorite de sodium sur la force d'adhésion, et ici c'est l'absence ou la modification de la couche de collagène qui en serait responsable. (90)

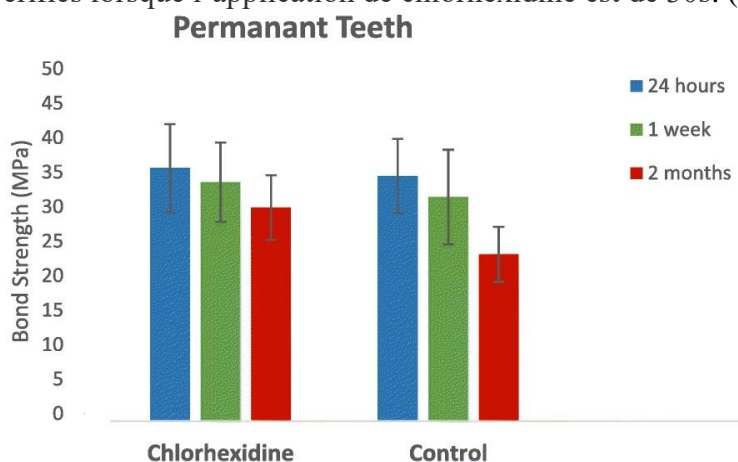
Une revue systématique de la littérature sur le sujet a conclu que les résultats des études avec faible ou fort risque de biais révèlent que l'hypochlorite de sodium n'a pas d'effet négatif sur la force d'adhésion. Alors que les études à risque moyen de biais montrent une réduction de cette force.(91) L'hétérogénéité des protocoles et des matériaux utilisés ne permettent pas une réponse sûre à ce sujet.

Une étude comparant l'adhésion de CVIMAR après traitement de surface par différents protocole de désinfection a trouvé une diminution de la force d'adhésion lors d'application d'hypochlorite de sodium par rapport au groupe test.(92)

Lors des études analysées sur le pouvoir désinfectant, l'hypochlorite était toujours rincé à l'eau avant la procédure de collage. Le rinçage de la solution permettrait en effet d'améliorer la force de collage. Le même effet est trouvé pour la chlorhexidine.(93)

Chlorhexidine

Plusieurs études ont montré que la chlorhexidine n'affecte pas la force de collage immédiate. De plus, il a été montré in vivo que l'application de chlorhexidine pendant une minute sur la dentine après rinçage de l'acide phosphorique permet un maintien de la force d'adhésion initial sur au moins 14 mois alors que sans chlorhexidine cette force diminue.(94,95) Son action inhibitrice des MMP semble expliquer ce phénomène. Ces résultats ont été également vérifiés lorsque l'application de chlorhexidine est de 30s. (96)



Résultat de test sur le collage avec et sans chlorhexidine

Etude sur des dents in vivo, une cavité est préparée sur dent saines puis la dent est restaurée avec ou sans application de chlorhexidine avant la mise en place de CVIMAR. Le résultat montre qu'il n'y a pas plus de micro-défauts à l'interface dent/matériau. (97) Il n'est pas noté de différence également sur la force de collage avec CVIMAR (92)

Chlorure de tolonium

De par le dégagement d'oxygène, il est en droit de s'interroger sur la qualité du collage après utilisation de cette technique.

Pour les restaurations au composite, il n'a pas été montré que l'utilisation d'agent photosensibilisant affecte la qualité du collage. De plus, aucune différence significative n'a été montrée sur la proportion de micro défauts quel que soit le solvant de l'adhésif (acétone ou alcool) avec des adhésif non auto mordancant, (étude sur des dents extraites, traitées et ayant subi un vieillissement artificiel accéléré).(98)

Pour le CVI en revanche, l'étude sur la désinfection a montré une diminution de la force mais cette étude utilisé le bleu de méthylène comme agent photosensibilisant.

Fluorure diamine d'argent

Des études ont été réalisées pour évaluer le collage après application de fluorure diamine d'argent. Lors d'une étude réalisée sur des blocs de dentine in vitro, Knight montre que la force d'adhésion de CVI auto polymérisable, avec application de fluorure diamine d'argent /iodure de potassium puis rinçage à l'eau, est semblable à celle retrouvée lors de l'application de conditionner. En revanche, lorsque la cavité est séchée, la force de d'adhésion s'en trouve diminuée (99)

Dans une étude où le collage de composites est étudié, il n'a pas été trouvé de différence significative entre le groupe témoin et le groupe traité avec du fluorure diamine d'argent à 38 % et ce quel que soit le système adhésif choisi. Lors de cette étude, le fluorure diamine d'argent été appliqué pendant 30 secondes puis rincé à l'eau pendant 30 secondes. (100) Il n'a pas été trouvé de différence également quand de l'iodure de potassium était appliqué après le fluorure diamine d'argent puis le précipité rincé à l'eau.(101) Kozumi, dans une expérience où du fluorure diamine d'argent /iodure de potassium est appliqué avant collage de CVI ou plusieurs types adhésif, a trouvé une différence significative. Or lors de ces test, aucun rinçage n'était effectué entre l'application de fluorure diamine d'argent /iodure de potassium et le collage.(102)

Ces tests montrent que le fluorure diamine d'argent, lorsqu'il est rincé, n'a pas d'impact sur le collage quel que soit le matériau de restauration utilisé. De plus de par son action d'inhibition de MMP, il est raisonnable de penser que, comme la chlorhexidine, la force de collage pour les composites diminue moins dans le temps.

Laser

Des études ont conclu que l'utilisation du laser était incompatible avec une bonne adhésion (103) ou du moins que son utilisation rendait la cavité moins susceptible au collage.(104) Selon d'autres études, l'utilisation du laser pour la préparation cavitaire n'influence pas l'adhésion des matériaux de restauration, composites (105) ou CVI.(106) De plus, une comparaison entre un traitement à l'acide et un traitement à l'aide de laser avant application d'adhésif montre que l'échantillon soumis au laser a une force d'adhésion plus faible qu'avec mordançage à l'acide. Le laser ne remplace pas le mordançage chimique. (107,108)

Une étude a conclu qu'un traitement au laser ne favorise pas l'apparition de microleakage vis à vis d'un traitement conventionnelle.(109)

Une méta analyse récente vient elle conclure que l'utilisation du laser Er:YAG pour la préparation est une alternative sûre vis à vis de la méthode conventionnelle à l'aide d'instruments rotatifs. (110)

Selon JP ATTAL, l'étanchéité immédiate dépend principalement de l'adhésion, un matériau présentant une forte adhésion à la dent a de bonnes chances.

L'étanchéité retardée dépend en plus de la solubilité du matériau dans l'eau et les acides, de la résistance à l'usure, du coefficient de dilatation thermique.

Aucun matériaux de restauration direct ne répond parfaitement à l'intégralité de ces critères. Les composites ayant un coefficient de dilatation thermique de l'ordre de $30 \text{ à } 40 \cdot 10^{-6} \cdot \text{C}^{-1}$ alors que la dentine a une valeur de 8 et l'émail de 11,4. Les CVI présente quand a eu une résistance à l'usure plus faible que les composites.

Le MDBP n'améliore pas l'adhésion à long terme vis-à-vis de d'adhésif plus traditionnelle. (111)

	Composite	CVI
Hypochlorite de sodium	?	-
Chlorhexidine	=/+	=
Chlorure de tolonium	-	-
Fluorure diamine d'argent	=	=

Couleur

L'utilisation des solutions peut avoir une action de coloration de la dentine et des autres tissus dentaires.

Comme vu précédemment, l'hypochlorite a une action de décoloration, il n'y a donc pas de problème de coloration alors de son utilisation

La chlorhexidine quant à elle peut théoriquement entraîner des colorations. Cependant de tels colorations n'ayant été relevé que pour des utilisation quotidienne sous forme de bain de

bouche, l'application unique est peu susceptible d'entraîner une coloration notable de la cavité désinfecté.

Le chlorure de toulon est quant à lui un colorant bleu. Son impact sur un changement de couleur de la dent n'a pas été étudié pour une désinfection de cavité carieuse mais une étude sur le changement de couleur a été réalisée dans le cadre de soins endodontique. Dans ce cadre, l'application de chlorure de toulon est plus longue et irradiation plus longue que pour le protocole de désinfection de cavité carieuse. Le changement de couleur du au chlorure de toulon est un des moins important comparé à d'autres agents photosensibilisants(112) de plus lors de cette étude, le chlorure de toulon est placé dans le canal pendant 5 minutes, alors que dans le cadre de la désinfection dentinaire d'une carie, le contact ne dure qu'une minute. Son faible pouvoir de coloration dentinaire dans le cadre de l'endodontie laisse à penser que son utilisation comme agent de sensibilisation en désinfection photo activée n'entraîne pas de discoloration.

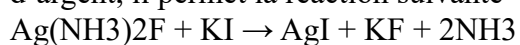
Le fluorure diamine d'argent a montré quant à lui une forte coloration de la dent lors de son utilisation.



Figure 2 Patient polycarieux traité avec du fluorure diamine d'argent

Ce produit à tendance à colorer les dents en noir du fait de sa composition avec de l'argent. Des études ont été réalisées sur l'acceptation du patient. Comme le produit est pour le moment principalement utilisé dans le cadre de l'odontologie pédiatrique, ce sont les parents qui ont répondu à des questionnaires. Dans deux études, la majorité des parents étaient satisfaits de l'aspect dentaire de leur enfant lors de l'utilisation de fluorure diamine d'argent. Cependant, le taux de satisfaction était plus bas pour les dents antérieures comparativement aux dents postérieures.(113)

Il a été développé une solution d'iodure de potassium. Appliquer après le fluorure diamine d'argent, il permet la réaction suivante



Leur association forme un précipité blanc d'iodure d'argent AgI. Ce précipité doit être rincé avant restauration. Cela permet une diminution de la coloration du au fluorure diamine d'argent et donc une meilleure acceptation par le patient.

La modification par ajout d'ion de composite peut également entraîner un changement de teinte de ceux-ci que ce soit de façon immédiate ou lors de l'hydrolyse de la partie résineuse avec le temps. Les études sur le sujet n'étant pas anciennes et le faible nombre d'entre elles ne permettent de conclure sur ce sujet d'autant que les couleurs n'est jamais évoquée.

Carie secondaire

« Une lésion carieuse se développant au niveau d'un site adjacent à une restauration. La carie secondaire obéit au même mécanisme de base que la carie primaire, et ne s'en distingue que par sa localisation. » (114)

Certains chercheurs avancent l'idée que les caries secondaires sont en fait de nouvelles caries primaires près de la restauration.(115) Ainsi, la diminution de la quantité de bactéries dans son environnement proche peut constituer un avantage et rendre la restauration moins susceptible à la carie secondaire.

L'utilisation de matériau ayant des propriétés antibactériennes est donc susceptible d'améliorer la pérennité des restaurations, la carie secondaire étant la première cause d'échec d'une restauration.(116)

Concernant les solutions et le laser, leur action antibactérienne est immédiate, ce qui ne permet pas de supposer d'une action de prévention de la carie secondaire. Cependant, leur rôle peut être indirecte via leur effet sur le collage. Ainsi, l'amélioration de celui-ci peut avoir un effet protecteur vis à vis de la protection de la pénétration bactérienne.

Lors des recherches, il est cependant apparu que l'utilisation de fluorure diamine d'argent aurait une action de prévention de la carie secondaire. En effet, dans une étude in vitro sur la carie secondaire, il a été remarqué que les restaurations ayant été réalisées après un traitement au fluorure diamine d'argent montrent une profondeur de carie plus faible que le groupe témoin.(117) Ceci est en accord avec le fait que la dentine traitée au SDF est moins susceptible de développer une carie.

Du fait que les composites n'ont pas d'effet inhibiteur sur les bactéries, la plaque s'y accumule plus que sur d'autres matériaux de restauration. Or, l'inhibition de la plaque par le matériau conduit à une diminution du nombre total de bactéries autour de la restauration, ce qui est un facteur intervenant dans l'apparition de caries. Il est raisonnable de penser que la prévention de la formation d'un biofilm par le matériau de restauration peut contribuer à la prévention de caries autour de la restauration.

L'adhésion initiale de bactéries spécifique à la surface de la dent ou d'un matériau de restauration est le prérequis essentiel à la formation d'un biofilm cariopathogène dans la cavité orale.(118) Cette adhésion est moins forte sur des matériaux présentant des propriétés antibactériennes. Comme vu plus tôt, du fluor est dégagé par les CVI, ce qui participe à un contrôle du développement de la plaque bactérienne.(56) Cette effet est également valable pour les composites libérateurs d'ions et pour le composite activa.

De par son effet inhibiteur, le MDP empêche également le développement de biofilm en son contact. Dans le cas d'un adhésif, cet effet est plus limité car sa surface au niveau de la face extérieure de la restauration est très petite

A moyen terme, le composite activa ne montre pas d'amélioration vis-à-vis d'un composite nanohybride classique chez les patients ne présentant pas un défaut d'hygiène bucco-dentaire.(119)

Clearfil Protect Bond, l'adhésif contenant MDBP, a été comparé à d'autres adhésifs in vitro. Une cavité a été préparée sur des incisifs bovins sains puis restaurée avec le même composite mais 4 adhésifs différents. Après plusieurs cycles de déminéralisation-reminéralisation, il apparaît que l'émail autour des préparations traitées avec l'adhésif Clearfil Protect Bond est le moins déminéralisé parmi les 4 adhésifs étudiés.(120)

Cependant, en dépit de résultats in vitro prometteurs, les preuves cliniques du bénéfice de cet adhésif antibactérien sont manquantes.

Conclusion

Ce travail met en lumière le fait que bien que les études in vitro montrent des effets et des conséquences qui paraissent logiques, la réalité clinique est plus nuancée. Lorsque les études en laboratoire montrent des solutions avec de fortes propriétés antibactériennes, une fois utilisées in vivo, la désinfection apportée par ces solutions semble limitée. De plus l'utilisation de matériaux aux propriétés antibactériennes ne montre pas systématiquement d'amélioration clinique.

A la suite d'une étude comparative sur différents matériaux antibactériens utilisés en fond de cavité, Schwendicke conclut que les preuves pour recommander ce type de matériaux sont insuffisantes. Et que les dentistes doivent être conscients que leur utilisation n'est pas grandement validée par des essais cliniques.(121)

A la suite des recherches menées sur les différentes solutions et matériaux dans ce travail, une conclusion du même genre peut être faite. De par leur capacité à détruire les bactéries, l'utilisation de procédures de désinfection doit être utilisée tout en sachant que des preuves cliniques de leur efficacité n'est pas entièrement prouvée. L'utilisation de chlorhexidine et de chlorure de tolonium ne montrant pas d'effet secondaire négatif, leur utilisation sera préférée à celle de l'hypochlorite de sodium. Pour le fluorure d'argent, bien que les résultats cliniques semblent prometteurs, la coloration des tissus reste un frein à son utilisation systématique.

Les matériaux présentés comme antibactériens quant à eux ne semblent pas présenter de bénéfices immédiats. Leur utilisation contribue à réduire la charge bactérienne en périphérie des restaurations. Ils sont donc recommandés pour les patients à haut risque carieux.

1. Melo MAS, de-Paula DM, Lima JPM, Borges FMC, Steiner-Oliveira C, Nobre-dos-Santos M, et al. In vitro photodynamic antimicrobial chemotherapy in dentine contaminated by cariogenic bacteria. *Laser Phys.* 1 juin 2010;20(6):1504-13.
2. Clarke JK. On the Bacterial Factor in the Ætiology of Dental Caries. *Br J Exp Pathol.* juin 1924;5(3):141-7.
3. Fioretti F, Haïkel Y. Carie et sucres. *Médecine Mal Métaboliques.* oct 2010;4(5):543-9.
4. Fontana M, Dunipace AJ, Gregory RL, Noblitt TW, Li Y, Park KK, et al. An in vitro Microbial Model for Studying Secondary Caries Formation. *Caries Res.* 1996;30(2):112-8.
5. Lasfargues J-J. *odontologie conservatrice et restauratrice* tome 1. 480 p.
6. Zheng L, Hilton JF, Habelitz S, Marshall SJ, Marshall GW. Dentin caries activity status related to hardness and elasticity. *Eur J Oral Sci.* juin 2003;111(3):243-52.
7. Bönecker M, Toi C, Cleaton-Jones P. Mutans streptococci and lactobacilli in carious dentine before and after Atraumatic Restorative Treatment. *J Dent.* août 2003;31(6):423-8.
8. Gu F, Bresciani E, Barata TJ, Fagundes TC, Navarro MF, Dickens SH, et al. In vivo Acid Etching Effect on Bacteria within Caries-Affected Dentin. *Caries Res.* 2010;44(5):472-7.
9. Normes d'application de désinfection de l'eau (pour l'UE) - Lenntech [Internet]. [cité 2 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.lenntech.fr/procedes/desinfection/reglement-ue/desinfection/eu-eau-desinfection-legislation.htm>
10. Tunc ES, Sahin Z, Guler E, Bayrak S, Tuloglu N. Effectiveness of Different Cleaning Solutions in Removing Residual Caries-Detector Dyes. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(3):253-6.
11. Gultz J, Do L, Boylan R, Kaim J, Scherer W. Antimicrobial activity of cavity disinfectants. *Gen Dent.* avr 1999;47(2):187-90.
12. Saeed HMM, Faraj BM, Mirdan BM. Evaluation of antibacterial effects of 5-aminolevulinic acid in combination with light emitting diode (LED: 635nm) with different disinfection methods. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* mars 2020;29:101615.
13. Koskinen KP, Stenvall H, Uitto V-J. Dissolution of bovine pulp tissue by endodontic solutions. *Scand J Dent Res.* oct 1980;88(5):406-11.
14. Góme SS, Bravo P, Morales R, Romero A, Oyarzún A. Resin Penetration in Artificial Enamel Carious Lesions after Using Sodium Hypochlorite as a Deproteinization Agent. *J Clin Pediatr Dent.* sept 2014;39(1):51-6.
15. Venkataraghavan K, Kush A, Lakshminarayana CS, Diwakar L, Ravikumar P, Patil S, et al. Chemomechanical Caries Removal: A Review & Study of an Indigenously Developed Agent (Carie Care™ Gel) In Children. *J Int Oral Health.* 7 août 2013;5(4):84-90.

16. WHO-MVP-EMP-IAU-2019.06-eng.pdf [Internet]. [cité 27 sept 2019]. Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/325771/WHO-MVP-EMP-IAU-2019.06-eng.pdf?ua=1>
17. Comparison of Antibacterial Effect of Fluoride and Chlorhexidine on Two Cariogenic Bacteria: An in Vitro Study [Internet]. OpenAIRE - Explore. [cité 3 mars 2020]. Disponible sur: <https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=doajarticles::6aa87a33b55275e5f3b71c98e607e911>
18. Besinis A, De Peralta T, Handy RD. The antibacterial effects of silver, titanium dioxide and silica dioxide nanoparticles compared to the dental disinfectant chlorhexidine on *Streptococcus mutans* using a suite of bioassays. *Nanotoxicology*. févr 2014;8(1):1-16.
19. Abraham S, Raj DJD, Venugopal M. Endodontic Irrigants: A Comprehensive Review. *J Pharm Sci*. 2015;7:5.
20. Uzer Celik E, Tunac AT, Ates M, Sen BH. Antimicrobial activity of different disinfectants against cariogenic microorganisms. *Braz Oral Res* [Internet]. 2016 [cité 3 mars 2020];30(1). Disponible sur: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-83242016000100315&lng=en&tlng=en
21. Göstemeyer G, Schulze F, Paris S, Schwendicke F. Arrest of Root Carious Lesions via Sodium Fluoride, Chlorhexidine and Silver Diamine Fluoride In Vitro. *Materials*. janv 2018;11(1):9.
22. Borges FMC, de Melo MAS, Lima JPM, Zanin ICJ, Rodrigues LKA. Antimicrobial effect of chlorhexidine digluconate in dentin: In vitro and in situ study. *J Conserv Dent JCD*. 2012;15(1):22-6.
23. Joshi JS, Roshan NM, Sakeenabi B, Poornima P, Nagaveni NB, Subbareddy VV. Inhibition of Residual Cariogenic Bacteria in Atraumatic Restorative Treatment by Chlorhexidine: Disinfection or Incorporation. *Pediatr Dent*. 7 août 2017;39(4):308-12.
24. Mazzoni A, Tjäderhane L, Checchi V, Di Lenarda R, Salo T, Tay FR, et al. Role of Dentin MMPs in Caries Progression and Bond Stability. *J Dent Res*. févr 2015;94(2):241-51.
25. Gendron R, Grenier D, Sorsa T, Mayrand D. Inhibition of the Activities of Matrix Metalloproteinases 2, 8, and 9 by Chlorhexidine. *Clin Diagn Lab Immunol*. 1999;6(3):437-9.
26. Puis-je utiliser la chlorhexidine comme seule solution d'irrigation pour les traitements endodontiques? | jcda [Internet]. [cité 3 mars 2020]. Disponible sur: <https://jcda.ca/fr/article/b16>
27. Singla M, Aggarwal V, Kumar N. Effect of chlorhexidine cavity disinfection on microleakage in cavities restored with composite using a self-etching single bottle adhesive. *J Conserv Dent JCD*. 2011;14(4):374-7.

28. Shafiei F, Doozandeh M, Alavi AA. Effect of Resin Coating and Chlorhexidine on the Microleakage of Two Resin Cements after Storage. *J Prosthodont.* févr 2011;20(2):106-12.
29. Jori G, Fabris C, Soncin M, Ferro S, Coppellotti O, Dei D, et al. Photodynamic therapy in the treatment of microbial infections: Basic principles and perspective applications. *Lasers Surg Med.* 2006;38(5):468-81.
30. Plaetzer K, Krammer B, Berlanda J, Berr F, Kiesslich T. Photophysics and photochemistry of photodynamic therapy: fundamental aspects. *Lasers Med Sci.* mars 2009;24(2):259-68.
31. Gursoy H, Ozcakir-Tomruk C, Tanalp J, Yılmaz S. Photodynamic therapy in dentistry: a literature review. *Clin Oral Investig.* mai 2013;17(4):1113-25.
32. BleuDeToluidine.pdf [Internet]. [cité 4 mars 2020]. Disponible sur: http://users.skynet.be/Champignons_passion/BleuDeToluidine.pdf
33. Tavares A, Carvalho CMB, Faustino MA, Neves MGPMS, Tomé JPC, Tomé AC, et al. Antimicrobial Photodynamic Therapy: Study of Bacterial Recovery Viability and Potential Development of Resistance after Treatment. *Mar Drugs.* janv 2010;8(1):91-105.
34. Zanin ICJ, Lobo MM, Rodrigues LKA, Pimenta LAF, Höfling JF, Gonçalves RB. Photosensitization of in vitro biofilms by toluidine blue O combined with a light-emitting diode. *Eur J Oral Sci.* 2006;114(1):64-9.
35. Rolim JPML, de-Melo MAS, Guedes SF, Albuquerque-Filho FB, de Souza JR, Nogueira NAP, et al. The antimicrobial activity of photodynamic therapy against *Streptococcus mutans* using different photosensitizers. *J Photochem Photobiol B.* janv 2012;106:40-6.
36. Williams J, Pearson G, Colles MJ, Wilson M. The Photo-Activated Antibacterial Action of Toluidine Blue O in a Collagen Matrix and in Carious Dentine. *Caries Res.* 1 oct 2004;38:530-6.
37. Lima JPM, Melo MAS de, Borges FMC, Teixeira AH, Steiner - Oliveira C, Santos MN dos, et al. Evaluation of the antimicrobial effect of photodynamic antimicrobial therapy in an in situ model of dentine caries. *Eur J Oral Sci.* 2009;117(5):568-74.
38. Melo MAS, Rolim JPML, Zanin ICJ, Silva JJA, Paschoal AR, Ayala AP, et al. A Comparative Study of the Photosensitizer Penetration into Artificial Caries Lesions in Dentin Measured by the Confocal Raman Microscopy. *Photochem Photobiol.* 2014;90(1):183-8.
39. Rosenblatt A, Stamford TCM, Niederman R. Silver Diamine Fluoride: A Caries « Silver-Fluoride Bullet ». *J Dent Res.* févr 2009;88(2):116-25.
40. Mei ML, Chu CH, Lo ECM, Samaranayake LP. Fluoride and silver concentrations of silver diammine fluoride solutions for dental use. *Int J Paediatr Dent.* 2013;23(4):279-85.

41. Yee R, Holmgren C, Mulder J, Lama D, Walker D, van Palenstein Helderman W. Efficacy of Silver Diamine Fluoride for Arresting Caries Treatment. *J Dent Res.* juill 2009;88(7):644-7.
42. Rossi G, Squassi A, Mandalunis P, Kaplan A. Effect of silver diamine fluoride (SDF) on the dentin-pulp complex. Ex vivo histological analysis on human primary teeth and rat molars. *Acta Odontol Latinoam.* 2017;30:8.
43. Mei M, Li Q, Chu C-H, Lo EC-M, Samaranayake L. Antibacterial effects of silver diamine fluoride on multi-species cariogenic biofilm on caries. *Ann Clin Microbiol Antimicrob.* 2013;12(1):4.
44. Hamama HH, Yiu CK, Burrow MF. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide on residual bacteria in dentinal tubules. *Aust Dent J.* 2015;60(1):80-7.
45. Mei ML, Ito L, Cao Y, Lo ECM, Li QL, Chu CH. An ex vivo study of arrested primary teeth caries with silver diamine fluoride therapy. *J Dent.* avr 2014;42(4):395-402.
46. Knight GM, McIntyre JM, Craig GG, Zilm PS, Gully NJ. Differences between normal and demineralized dentine pretreated with silver fluoride and potassium iodide after an in vitro challenge by *Streptococcus mutans*. *Aust Dent J.* 2007;52(1):16-21.
47. Zhao IS, Gao SS, Hiraishi N, Burrow MF, Duangthip D, Mei ML, et al. Mechanisms of silver diamine fluoride on arresting caries: a literature review. *Int Dent J.* avr 2018;68(2):67-76.
48. Mei ML, Ito L, Cao Y, Li QL, Chu CH, Lo ECM. The inhibitory effects of silver diamine fluorides on cysteine cathepsins. *J Dent.* mars 2014;42(3):329-35.
49. Horst JA, Ellenikiotis H. UCSF Protocol for Caries Arrest Using Silver Diamine Fluoride: Rationale, Indications, and Consent. 2016;19.
50. Tao S, Li L, Yuan H, Tao S, Cheng Y, He L, et al. Erbium Laser Technology vs Traditional Drilling for Caries Removal: A Systematic Review with Meta-Analysis. *J Evid Based Dent Pract.* déc 2017;17(4):324-34.
51. Walsh L. Laser Analgesia with Pulsed Infrared Lasers: Theory and Practice. 1 janv 2008;
52. Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med.* 2004;35(2):111-6.
53. Berrocal IL. Sterilizing effects of the Erbium:Yag laser upon dental structures: An in vitro study. *Oral Surg.* :4.
54. Camerlingo C, Lepore M, Gaeta GM, Riccio R, Riccio C, De Rosa A, et al. Er:YAG laser treatments on dentine surface: micro-Raman spectroscopy and SEM analysis. *J Dent.* juill 2004;32(5):399-405.

55. Forss H, Jokinen J, Spets-Happonen S, Seppä L, Luoma H. Fluoride and Mutans Streptococci in Plaque Grown on Glass Ionomer and Composite. *Caries Res.* 1991;25(6):454-8.
56. Hahnel S, Ionescu AC, Cazzaniga G, Ottobelli M, Brambilla E. Biofilm formation and release of fluoride from dental restorative materials in relation to their surface properties. *J Dent.* mai 2017;60:14-24.
57. Lööf J, Svahn F, Jarmar T, Engqvist H, Pameijer CH. A comparative study of the bioactivity of three materials for dental applications. *Dent Mater.* mai 2008;24(5):653-9.
58. Berg JH, Croll TP. Glass Ionomer Restorative Cement Systems: An Update. *Pediatr Dent.* 3 avr 2015;37(2):116-24.
59. Nicholson J, Czarnecka B. The biocompatibility of resin-modified glass-ionomer cements for dentistry. *Dent Mater.* déc 2008;24(12):1702-8.
60. Cabral MFC, Martinho RL de M, Guedes-Neto MV, Rebelo MAB, Pontes DG, Cohen-Carneiro F. Do conventional glass ionomer cements release more fluoride than resin-modified glass ionomer cements? *Restor Dent Endod.* août 2015;40(3):209-15.
61. Duque C, Negrini T de C, Hebling J, Spolidorio DMP. Inhibitory activity of glass-ionomer cements on cariogenic bacteria. *Oper Dent.* oct 2005;30(5):636-40.
62. Suprastiwi E, Anggraeni A, Nyoman Putri Artiningsih DA. Fluoride Released from GIC and RMGIC in Saliva and Dentino-Enamel Substance. *Makara J Health Res.* 14 oct 2010;53-58-58.
63. White-Paper-ACTIVA-BioACTIVE-FR.pdf [Internet]. [cité 9 mars 2020]. Disponible sur: <http://pulpdent.fr/wp-content/uploads/2017/02/White-Paper-ACTIVA-BioACTIVE-FR.pdf>
64. Tiskaya M, Al-eesa NA, Wong FSL, Hill RG. Characterization of the bioactivity of two commercial composites. *Dent Mater.* déc 2019;35(12):1757-68.
65. Garoushi S, Vallittu PK, Lassila L. Characterization of fluoride releasing restorative dental materials. *Dent Mater J.* 2018;37(2):293-300.
66. Albannawi ZA. Evaluation of the Antibacterial Effect of Bioactive Dental Restorative Materials: In vitro Study [Internet] [M.S.]. [Ann Arbor, United States]; 2016 [cité 9 mars 2020]. Disponible sur: <http://search.proquest.com/docview/1821312952/abstract/AFE40135232A444APQ/1>
67. ElReash AA, Hamama H, Eldars W, Lingwei G, Zaen El-Din AM, Xiaoli X. Antimicrobial activity and pH measurement of calcium silicate cements versus new bioactive resin composite restorative material. *BMC Oral Health* [Internet]. déc 2019 [cité 9 mars 2020];19(1). Disponible sur: <https://bmcoralhealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12903-019-0933-z>
68. Properties of Experimental Dental Composites Containing Antibacterial Silver-Releasing Filler [Internet]. *OpenAIRE - Explore.* [cité 10 mars 2020]. Disponible sur:

https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=dedup_wf_001::2d50afc4db341d0de5bae347b7b81438

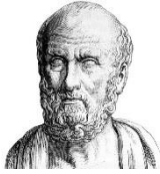
69. Imazato S. Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. *Dent Mater.* sept 2003;19(6):449-57.
70. Ekworapoj P. The mechanical properties of dental composite resin incorporated silver zeolites. *Dent Mater.* 1 janv 2013;29:e39-40.
71. Imazato S, Torii M, Tsuchitani Y, McCabe JF, Russell RRB. Incorporation of Bacterial Inhibitor into Resin Composite. *J Dent Res.* août 1994;73(8):1437-43.
72. Izutani N, Imazato S, Nakajo K, Takahashi N, Takahashi Y, Ebisu S, et al. Effects of the antibacterial monomer 12-methacryloyloxydodecylpyridinium bromide (MDPB) on bacterial viability and metabolism. *Eur J Oral Sci.* 2011;119(2):175-81.
73. Imazato S, McCabe JF. Influence of Incorporation of Antibacterial Monomer on Curing Behavior of a Dental Composite. *J Dent Res.* oct 1994;73(10):1641-5.
74. Imazato S. Bactericidal activity and cytotoxicity of antibacterial monomer MDPB. *Biomaterials.* mai 1999;20(9):899-903.
75. de CARVALHO FG, PUPPIN-RONTANI RM, de FÚCIO SBP, NEGRINI T de C, CARLO HL, GARCIA-GODOY F. Analysis by confocal laser scanning microscopy of the MDPB bactericidal effect on *S. mutans* biofilm CLSM analysis of MDPB bactericidal effect on biofilm. *J Appl Oral Sci.* 2012;20(5):568-75.
76. Mohan PVMU, Uloopi KS, Vinay C, Rao RC. In vivo comparison of cavity disinfection efficacy with APF gel, Propolis, Diode Laser, and 2% chlorhexidine in primary teeth. *Contemp Clin Dent.* 2016;7(1):45-50.
77. Melo MAS, Rolim JPML, Passos VF, Lima RA, Zanin ICJ, Codes BM, et al. Photodynamic antimicrobial chemotherapy and ultraconservative caries removal linked for management of deep caries lesions. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 1 déc 2015;12(4):581-6.
78. Guglielmi C de AB, Luz MA, Simionato MRL, Ramalho KM, Imparato JCP, Pinheiro SL. Clinical use of photodynamic antimicrobial chemotherapy for the treatment of deep carious lesions. *J Biomed Opt.* août 2011;16(8):088003.
79. Cieplik F, Buchalla W, Hellwig E, Al-Ahmad A, Hiller K-A, Maisch T, et al. Antimicrobial photodynamic therapy as an adjunct for treatment of deep carious lesions—A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 1 juin 2017;18:54-62.
80. Dickers B, Lamard L, Peremans A, Geerts S, Lamy M, Limme M, et al. Temperature rise during photo-activated disinfection of root canals. *Lasers Med Sci.* 1 janv 2009;24(1):81-5.
81. Zach L, Cohen G. Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1 avr 1965;19(4):515-30.

82. Cavalcanti BN, Lage-Marques JL, Rode SM. Pulpal temperature increases with Er:YAG laser and high-speed handpieces. *J Prosthet Dent.* 1 nov 2003;90(5):447-51.
83. Armengol V, Jean A, Marion D. Temperature Rise During Er:YAG and Nd:YAP Laser Ablation of Dentin. *J Endod.* 1 mars 2000;26(3):138-41.
84. Attal - Les ciments verres ionomères (CVI).pdf [Internet]. [cité 10 mars 2020]. Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap11/site/html/cours.pdf>
85. Korwar A, Sharma S, Logani A, Shah N. Pulp response to high fluoride releasing glass ionomer, silver diamine fluoride, and calcium hydroxide used for indirect pulp treatment: An in-vivo comparative study. *Contemp Clin Dent.* 2015;6(3):288-92.
86. Six N, Lasfargues JJ, Goldberg M. In vivo study of the pulp reaction to Fuji IX, a glass ionomer cement. *J Dent.* août 2000;28(6):413-22.
87. de Souza Costa CA, Teixeira HM, Lopes do Nascimento AB, Hebling J. Biocompatibility of resin-based dental materials applied as liners in deep cavities prepared in human teeth. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* avr 2007;81(1):175-84.
88. Taniguchi G, Nakajima M, Hosaka K, Iwamoto N, Ikeda M, Foxton RM, et al. Improving the effect of NaOCl pretreatment on bonding to caries-affected dentin using self-etch adhesives. *J Dent.* 1 oct 2009;37(10):769-75.
89. Prati C, Chersoni S, Pashley DH. Effect of removal of surface collagen fibrils on resin-dentin bonding. *Dent Mater.* 1 sept 1999;15(5):323-31.
90. Perdigão J, Lopes M, Geraldeli S, Lopes GC, García-Godoy F. Effect of a sodium hypochlorite gel on dentin bonding. *Dent Mater.* 1 sept 2000;16(5):311-23.
91. Abou Neel EA, Knowles JC, Bozec L. Effect of sodium hypochlorite on adhesive characteristics of dentin: A systematic review of laboratory-based testing. *Int J Adhes Adhes.* 1 déc 2019;95:102419.
92. Effect of various dentin disinfection protocols on the bond strength of resin modified glass ionomer restorative material [Internet]. OpenAIRE - Explore. [cité 10 mars 2020]. Disponible sur: https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=dedup_wf_001::79d4977f51a43f027b452ffa245fe679
93. Cha H-S, Shin D-H. Antibacterial capacity of cavity disinfectants against *Streptococcus mutans* and their effects on shear bond strength of a self-etch adhesive. *Dent Mater J.* 2016;35(1):147-52.
94. OpenAIRE | Review of Matrix Metalloproteinases' Effect on the [Internet]. OpenAIRE - Explore. [cité 29 nov 2019]. Disponible sur: https://explore.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____267::e1937346a9c63800659984b60ec18e94

95. Carrilho MRO, Geraldeli S, Tay F, de Goes MF, Carvalho RM, Tjäderhane L, et al. In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res.* juin 2007;86(6):529-33.
96. Full Text PDF [Internet]. [cité 10 mars 2020]. Disponible sur: <https://www.jopdentonline.org/doi/pdf/10.2341/10-251-L>
97. Mathew SM, Thomas AM, Koshy G, Dua K. Evaluation of the Microleakage of Chlorhexidine-Modified Glass Ionomer Cement: An in vivo Study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2013;6(1):7-11.
98. Madani L, Sarkisians E, Kiomarsi N, Kharazifard MJ, Chiniforush N. Effect of antimicrobial photodynamic therapy on microleakage of class cavities restored with composite resin. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 1 sept 2018;23:78-82.
99. Knight GM, McIntyre JM, Mulyani null. The effect of silver fluoride and potassium iodide on the bond strength of auto cure glass ionomer cement to dentine. *Aust Dent J.* mars 2006;51(1):42-5.
100. Quock R, Barros J, Yang S, Patel S. Effect of Silver Diamine Fluoride on Microtensile Bond Strength to Dentin. *Oper Dent.* oct 2012;37(6):610-6.
101. Selvaraj K, Sampath V, Sujatha V, Mahalaxmi S. Evaluation of microshear bond strength and nanoleakage of etch-and-rinse and self-etch adhesives to dentin pretreated with silver diamine fluoride/potassium iodide: An in vitro study. *Indian J Dent Res.* 1 janv 2016;27(4):421-5.
102. Koizumi H, Hamama HH, Burrow MF. Effect of a silver diamine fluoride and potassium iodide-based desensitizing and cavity cleaning agent on bond strength to dentine. *Int J Adhes Adhes.* 1 juill 2016;68:54-61.
103. Yamamoto K, Omae M, Yoshikawa K, Kawamoto M, Inoue M, Inoue M, et al. Bond strength of composite resin to dentin irradiated with Er : YAG laser. *J Osaka Dent Univ.* 2004;38(1):17-22.
104. Koliniotou-Koumpia E, Kouros P, Zafiriadis L, Koumpia E, Dionysopoulos P, Karagiannis V. Bonding of adhesives to Er:YAG laser-treated dentin. *Eur J Dent.* janv 2012;6(1):16-23.
105. Mc C, Ab M, Rs C, Mm M, Pm de F. Short-pulse Er:YAG laser increases bond strength of composite resin to sound and eroded dentin. *J Biomed Opt.* 1 avr 2016;21(4):48001-48001.
106. Malta D a. MP, Kreidler M a. M, Villa GE, Andrade MF de, Fontana CR, Lizarelli RFZ. Bond strength of adhesive restorations to Er:YAG laser-treated dentin. *Laser Phys Lett.* 2007;4(2):153-6.
107. Ribeiro CF, Gonçalves SE de P, Yui KCK, Borges AB, Barcellos DC, Brayner R. Dentin bond strength: influence of Er:YAG and Nd:YAG lasers. *Int J Periodontics Restorative Dent.* juin 2013;33(3):373-7.

108. Lupi-Pégurier L, Bertrand M-F, Genovese O, Rocca J-P, Muller-Bolla M. Microleakage of resin-based sealants after Er:YAG laser conditioning. *Lasers Med Sci.* 1 sept 2007;22(3):183-8.
109. Snapshot [Internet]. [cité 10 mars 2020]. Disponible sur: <https://doaj.org/article/0282626adbec4e4fa4e30198c42213e5>
110. Zhang Y, Jiang A. The influence of Er:YAG laser treatment on the shear bond strength of enamel and dentin: a systematic review and meta-analysis. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. 2020;51(1):8-16.
111. de Faria NS, Moura LKB, de Macedo LMD, Colucci V, Raucci-Neto W, Messias DC. Effect of a 12-methacryloyloxy-dodecyl-pyridinium-bromide-containing adhesive with different post types on the long-term bond strength to dentin. *Eur J Oral Sci.* 2017;125(5):403-9.
112. Costa LM, Matos F de S, Correia AM de O, Carvalho NC, Faria-e-Silva AL, Paranhos LR, et al. Tooth color change caused by photosensitizers after photodynamic therapy: An in vitro study. *J Photochem Photobiol B.* 1 juill 2016;160:225-8.
113. Farmer JW, Singhal S, Quiñonez C. Efficacité, sécurité, et acceptation de la thérapie au fluorure d'argent diamine et son incidence sur la pratique de l'hygiène dentaire : Exposé de position et énoncé de L'Association canadienne des hygiénistes dentaires. :21.
114. CNEOC (Collège National des Enseignants en Odontologie Conservatrice et Endodontie), Dictionnaire francophone des termes d'OCE, 2010.
115. van Landuyt K, Van Meerbeek B. Restorative Challenges and How to Overcome Them. In: Schwendicke F, éditeur. *Management of Deep Carious Lesions* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [cité 10 mars 2020]. p. 71-91. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-319-61370-3_6
116. Mjör IA, Moorhead JE, Dahl JE. Reasons for replacement of restorations in permanent teeth in general dental practice. *Int Dent J.* 2000;50(6):361-6.
117. Mei ML, Zhao IS, Ito L, Lo EC, Chu C. Prevention of secondary caries by silver diamine fluoride. *Int Dent J.* avr 2016;66(2):71-7.
118. Bürgers R, Cariaga T, Müller R, Rosentritt M, Reischl U, Handel G, et al. Effects of aging on surface properties and adhesion of *Streptococcus mutans* on various fissure sealants. *Clin Oral Investig.* 1 déc 2009;13(4):419-26.
119. Bhadra D, Shah NC, Rao AS, Dedania MS, Bajpai N. A 1-year comparative evaluation of clinical performance of nanohybrid composite with ActivaTM bioactive composite in Class II carious lesion: A randomized control study. *J Conserv Dent JCD.* 2019;22(1):92-6.
120. Pinto CF, Paes-Leme AF, Ambrosano GMB, Giannini M. *In Vitro* Secondary Caries Inhibition by Adhesive Systems in Enamel Around Composite Restorations. *Oper Dent.* mai 2010;35(3):345-52.

121. Schwendicke F, Tu Y-K, Hsu L-Y, Göstemeyer G. Antibacterial effects of cavity lining: A systematic review and network meta-analysis. *J Dent.* 1 nov 2015;43(11):1298-307.



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.

MULOT Victorien – La désinfection dentinaire est-elle nécessaire en odontologie restauratrice ?

Th. : Chir. dent. : Marseille : Aix –Marseille Université : 2020

Rubrique de classement : Odontologie restauratrice

Résumé :

Les bactéries sont la cause des caries dentaires. La gestion de celles-ci est un enjeu de la prévention et la désinfection des surfaces semblent être une nécessité avant la restauration des cavités.

Le but de ce travail est d'analyser plusieurs méthodes de désinfection dentinaire à disposition du clinicien afin de réduire la présence bactérienne au travers de solutions, de moyen physique ou de matériaux.

Après une introduction sur les bactéries ainsi que les particularités de la désinfection dentinaire, nous verrons les propriétés intrinsèques des méthodes qui sont susceptible de permettre la désinfection dentinaire.

Enfin, nous analyserons les données cliniques de ces protocoles ainsi que les conséquences sur le devenir des restaurations afin de donner une réponse au sujet de la thèse.

Mots clés : odontologie restauratrice, désinfection, caries profondes, désinfection photo activée, chlorhexidine, chlorure de tolonium, ciment verre-ionomère

MULOT Victorien – Is dentine disinfection necessary in restorative dentistry?

Abstract:

Bacteria are the cause of tooth decay. The management of these is an issue of prevention and disinfection of surface seem to be a necessity before the restauration of cavities.

The goal of this work is to analyze several methods of dentin disinfection available to the clinician in order to reduce the bacterial presence trough solutions, physical means or materials.

After an introduction on bacteria as well as the particularity of dentin disinfection, we will see the intrinsic properties of the methods which are likely to allow dentin disinfection.

Finally, we will analyze the clinical data of these protocols and the consequences on the fate of restorations in order to give an answer to the subject of the thesis.

MeSH: conservative dentistry, disinfection, deep caries, photo activated disinfection, chlorhexidine, tolonium chloride, glass-ionomer cement

Adresse de l'auteur :

22 rue de l'achillée
13800 ISTRES