

UNIVERSITÉ TOULOUSE III – PAUL SABATIER
FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE

ANNÉE 2023

2023 TOU3 3027

THÈSE

**POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

par

GOTAS Louise

Le lundi 05 juin 2023

**Un traitement non conventionnel de la maladie carieuse en
odontologie pédiatrique :**

La technique SMART

Directeurs de thèse : Dr. Sabine JONIOT et Dr. Thibault CANCEILL

JURY

Président : Professeur Frédéric VAYSSE
1^{er} assesseur : Docteur Sabine JONIOT
2^{ème} assesseur : Docteur Emmanuelle NOIRRIT-ESCLASSAN
3^{ème} assesseur : Docteur Thibault CANCEILL





**Faculté de santé
Département d'Odontologie**

➔ **DIRECTION**

Doyen de la Faculté de Santé

M. Philippe POMAR

Vice Doyenne de la Faculté de Santé

Directrice du Département d'Odontologie

Mme Sara DALICIEUX-LAURENCIN

Directeurs Adjointes

Mme Sarah COUSTY

M. Florent DESTRUHAUT

Directrice Administrative

Mme Muriel VERDAGUER

Présidente du Comité Scientifique

Mme Cathy NABET

➔ **HONORARIAT**

Doyens honoraires

M. Jean LAGARRIGUE +

M. Jean-Philippe LODTER +

M. Gérard PALOUDIER

M. Michel SIXOU

M. Henri SOULET

Chargés de mission

M. Karim NASR (*Innovation Pédagogique*)

M. Olivier HAMEL (*Maillage Territorial*)

M. Franck DIEMER (*Formation Continue*)

M. Philippe KEMOUN (*Stratégie Immobilière*)

M. Paul MONSARRAT (*Intelligence Artificielle*)

➔ **PERSONNEL ENSEIGNANT**

Section CNU 56 : Développement, Croissance et Prévention

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

ODONTOLOGIE PEDIATRIQUE

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

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

Assistants : Mme Anne GICQUEL, M. Robin BENETAH

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

ORTHOPEDIE DENTO-FACIALE

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

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

Adjoints d'Enseignement : Mme. Isabelle ARAGON

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

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

Assistante : Mme Géromine FOURNIER

Adjoints d'Enseignement : M. Alain DURAND, Mlle. Sacha BARON, M. Romain LAGARD, M. Jean-Philippe GATIGNOL
Mme Carole KANJ, Mme Mylène VINCENT-BERTHOUMIEUX, M. Christophe BEDOS

Section CNU 57 : Chirurgie Orale, Parodontologie, Biologie Orale

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

PARODONTOLOGIE

Maîtres de Conférences : Mme Sara LAURENCIN- DALICIEUX, Mme Alexia VINEL, Mme. Charlotte THOMAS

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

Adjoints d'Enseignement : M. Loïc CALVO, M. Christophe LAFFORGUE, M. Antoine SANCIER, M. Ronan BARRE ,
Mme Myriam KADDECH, M. Matthieu RIMBERT,

CHIRURGIE ORALE

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

BIOLOGIE ORALE

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

Section CNU 58 : Réhabilitation Orale

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

DENTISTERIE RESTAURATRICE, ENDODONTIE

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

PROTHÈSES

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

FONCTIONS-DYSFONCTIONS, IMAGERIE, BIOMATERIAUX

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

Mise à jour pour le 15 Mai 2023

Remerciements

À tous les enseignants de la Faculté d'Odontologie de Toulouse, qui m'ont tant appris, et transmis enthousiasme et motivation dans l'exercice de notre profession.

À mes parents, merci pour tout l'amour avec lequel nous avons grandi. Merci pour votre soutien inconditionnel dans toutes les grandes étapes de ma vie.

À Orane et Matthieu, vous savez que vous êtes les meilleurs des S. Orane, j'ai hâte d'assister à ta thèse !

À mes grands-mères, Odile et Bakhta. À mes grands-pères, Louis et Tayeb, avec qui j'aurais aimé partager toute cette joie.

À Lancelot, merci pour notre vie si douce.

À tout le reste de ma famille.

À mes amis, de promo et de toujours, avec qui nous avons partagé tant de fêtes, d'aventures et de rires. J'espère voir s'épanouir toute ma vie ces amitiés qui me sont si chères.

À toute l'équipe du cabinet des Petits Dentistes, merci pour votre confiance. C'est une joie de tous les jours de travailler avec vous !

À notre président du jury, le Professeur Frédéric VAYSSE :

- Professeur des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Lauréat de l'Université Paul Sabatier.

Je vous remercie de l'honneur que vous me faites de présider le jury de ma thèse. Merci de votre gentillesse, de votre patience et pour la qualité de votre enseignement, notamment lors du D.I.U d'odontologie pédiatrique. Votre vision bienveillante et très humaine de l'exercice dentaire m'a beaucoup appris, et j'espère pouvoir bénéficier de vos précieux conseils encore longtemps. Veuillez recevoir l'expression de mes sentiments les plus respectueux.

À notre directrice de thèse et premier assesseur, Docteur Sabine JONIOT :

- Maître de Conférences des Universités, Praticien hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur d'État en Odontologie,
- Habilitation à diriger des recherches (HDR),
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

Je vous remercie d'avoir accepté d'encadrer mon travail de thèse, et pour votre confiance durant sa rédaction. Merci de votre gentillesse, de votre disponibilité et votre patience lors de ce projet mais aussi tout au long de nos années cliniques à l'Hôtel-Dieu. Veuillez trouver ici l'expression de ma sincère reconnaissance et de mes sentiments les plus respectueux.

À notre deuxième assesseur, Docteur Emmanuelle ESCLASSAN-NOIRRIT :

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Ancienne Interne des Hôpitaux,
- Docteur de l'Université Paul Sabatier,
- Lauréate de l'Université Paul Sabatier.

Je vous remercie de votre bienveillance, votre accessibilité et votre dynamisme sans failles.

J'ai énormément appris à vos côtés, le vendredi, à l'Hôpital des Enfants. Votre enthousiasme et votre courage, auprès des petits patients, m'ont confortée dans l'idée de continuer de me spécialiser dans l'exercice exclusif de l'odontologie pédiatrique. Nous vous regretterons ; je vous souhaite le meilleur pour votre déménagement et la suite de votre carrière ; Marseille a de la chance de vous voir arriver !

À notre co-directeur de thèse et troisième assesseur, Docteur Thibault CANCEILL :

- Maître de Conférences des Universités, Praticien Hospitalier d'Odontologie,
- Docteur en Chirurgie Dentaire,
- Docteur en sciences des matériaux,
- Master 1 Santé Publique :
- Master 2 de Physiopathologie,
- CES Biomatériaux en Odontologie
- D.U. de Conception Fabrication Assistée par Ordinateur en Odontologie (CFAO)
- D.U. de Recherche Clinique en Odontologie
- Attestation de Formation aux gestes et Soins d'Urgence Niveau 2.

Je vous remercie de votre implication dans la codirection de cette thèse, vos conseils avisés, lors de la mise en place de l'expérimentation, m'ont été d'une aide précieuse.

Merci de votre engagement et votre gentillesse auprès des étudiants, pour votre disponibilité et la clarté de votre enseignement. Veuillez recevoir l'expression de ma plus grande gratitude.

Table des matières

<i>Liste des abréviations et acronymes</i>	12
<i>Introduction</i>	13
1. La maladie carieuse en odontologie pédiatrique	15
1.1. Préambule	15
1.1.1. Rappels histologiques	15
1.1.2. Processus chimique.....	16
1.2. État des lieux des thérapeutiques actuelles	17
1.2.1. Généralités	17
1.2.2. Problématiques socio-économiques.....	18
1.2.3. Limites des soins conventionnels.....	19
2. Soigner différemment : le SMART	21
2.1. La thérapeutique restaurative atraumatique	21
2.1.1. Cahier des charges	21
2.1.2. Historique	22
2.1.3. Principes clés	22
2.2. Le Fluorure diamine d'argent, l'iodure de potassium	25
2.2.1. Historique	25
2.2.2. Chimie	26
2.2.3. Actions antibactériennes et protectrices.....	26
2.2.4. Indications	30
2.2.5. Contre-indications, effets indésirables	32
2.2.6. Pharmacocinétique, toxicité.....	32
2.2.7. Acceptation du traitement.....	33
2.2.8. Effets sur la pulpe dentaire	34
2.3. SMART : Protocole clinique avec iodure de potassium	35
2.3.1. Consentement éclairé.....	35
2.3.2. Matériel.....	35
2.3.3. Optionnel : préparation de la cavité	36
2.3.4. Application de FDA + IP	36
2.3.5. Instructions post-opératoires	37
2.4. Soins SMART au Sénégal	37
2.5. Cas cliniques iconographiés	40
2.5.1. Cas 1	40
2.5.2. Cas 2	43
2.5.3. Cas 3	44
2.5.4. Cas 4	45
3. Expérimentation in vitro : effets de l'application de fluorure diamine d'argent et d'iodure de potassium sur l'assemblage Ciment Verre Ionomère-Dentine	46

3.1. État des lieux de la littérature	46
3.2. Expérimentation in vitro	47
3.2.1. Échantillons	47
3.2.2. Méthode	48
3.2.3. Résultats.....	52
3.2.4. Discussion.....	54
<i>Conclusion</i>.....	56
<i>Table des figures</i>	57
<i>Table des tableaux</i>.....	58
<i>Annexes</i>	59
<i>Références bibliographiques</i>	61

Liste des abréviations et acronymes

- FDA : Fluorure Diamine d'Argent
- IP : Iodure de Potassium
- ART : *Atraumatic Restorative Treatment*
- SMART : *Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment*
- CVI : Ciment Verre Ionomère
- COVID : *Coronavirus Disease*
- SBS : *Shear Bond Strength*
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- HAS : Haute Autorité de Santé
- ECOHIS : *Early Childhood Oral Health Impact Scale*
- OHRQoL : *Oral Health-Related Quality of Life*
- AAPD : *Association of America's Pediatric Dentists*
- MEOPA : Mélange Équimolaire d'Oxygène et de Protoxyde d'Azote
- PMA : Paquet Minimal d'Activité
- IPBOC : *Integrated Package for Basic Oral Care*
- PASS : Permanences d'Accès aux Soins de Santé
- ADN : Acide Désoxyribo-Nucléique
- MIH : Molaire Incisive Hypominéralisation

Introduction

La maladie carieuse a une étiologie multifactorielle complexe, constituée de facteurs non modifiables (biologiques, cliniques, socio-économiques) et modifiables (comportementaux).

D'un point de vue épidémiologique, la carie dentaire est la maladie la plus fréquente dans le monde. Plus de 500 millions d'enfants dans le monde souffrent de caries des dents lactéales (1) ; la plupart n'ont pas ou très peu de suivi bucco-dentaire.

Elle a un impact direct sur la qualité de vie, en particulier chez les enfants.

Une bonne santé-buccodentaire est indispensable à de nombreuses fonctions essentielles : phonation, alimentation, respiration, qui contribuent au développement harmonieux d'un enfant (2). Elle est directement reliée, d'un point de vue psychosocial, au bien-être, à la confiance en soi, à la capacité d'interaction avec autrui, dans le cercle personnel, familial, éducatif. S'en préoccuper, dès les premières années de vie, est indispensable à son maintien tout au long de l'existence.

La prévalence de la carie a largement diminué ces dernières décennies dans les pays développés, notamment grâce aux politiques publiques axées sur la prévention.

La dentisterie moderne s'emploie à améliorer ses protocoles de soins. Le traitement idéal a un cahier des charges bien spécifique : il se veut efficace, rapide, indolore au possible, peu invasif, à moindre coût, et disponible pour tous.

Le traitement SMART - pour *Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment*, c'est-à-dire Traitement Restauratif Atraumatique modifié par l'utilisation de FDA, essaie de se rapprocher de cet idéal thérapeutique ; mais malgré de nombreux avantages, les répercussions esthétiques des colorations au fluorure diamine d'argent restent un frein important à la démocratisation de son utilisation. L'application secondaire d'iodure de potassium apporte une solution à cette problématique esthétique (3), mais des questions restent en suspens quant à son utilisation clinique quotidienne.

Quels sont les enjeux de prévention et de traitement de la maladie carieuse en odontologie pédiatrique ?

En quoi consiste l'*Atraumatic Restorative Treatment* (ART), et quels avantages le Fluorure Diamine d'Argent (FDA) lui confère-t-il ?

Quand et comment y adjoindre l'utilisation d'iodure de potassium, et quel est son impact sur les restaurations ultérieures ?

1. La maladie carieuse en odontologie pédiatrique

1.1. Préambule

La maladie carieuse est un processus pathologique infectieux intéressant les tissus durs de la dent. Multifactorielle, elle est influencée par des facteurs biologiques, comportementaux, psychosociaux et environnementaux. La lésion carieuse, cavitaire ou non, est le signe et le symptôme d'un déséquilibre entre déminéralisation et reminéralisation des tissus dentaires (4).

1.1.1. Rappels histologiques

L'émail est le tissu le plus minéralisé du corps humain. Il est embryonnairement d'origine ectodermique. Il recouvre le complexe dentino-pulpaire dans sa partie coronaire ; il protège la dent contre les agressions extérieures. Il est acellulaire, avasculaire et non innervé, et donc incapable de cicatrisation ou de remaniement. Il est capable d'échanges ioniques avec le milieu extérieur. Il est composé de trois phases : minérale, organique et aqueuse.

La phase minérale est majoritaire à 95%. Elle est composée principalement de calcium et de phosphate, ainsi que d'autres éléments minoritaires tels que le sodium, le potassium, le magnésium, le chlore, le zinc et le fluor. Ils sont organisés en cristaux, dont les plus nombreux sont les cristaux d'hydroxyapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. La phase organique représente 4% de l'émail, elle est composée de protéines et de lipides. Les protéines présentes dans l'émail mature sont un reliquat de l'amélogénèse, durant laquelle amélogénines et non-amélogénines (énaméline, améloblastines, métalloprotéases, glycoprotéines ...) sont présentes en grand nombre. Dans l'émail mature, la matrice organique est située dans la partie non minéralisée, et sert à la diffusion aqueuse et ionique. Enfin, la phase aqueuse se trouve liée aux cristaux d'hydroxyapatite et ionisée autour de ces derniers afin de permettre des échanges avec le milieu salivaire et l'incorporation d'ions fluorures lors de la maturation post-éruptive.

La dentine est un tissu d'origine conjonctive, constituant la majorité de la dent. Elle est perméable par sa structure tubulaire (10 à 30% de son volume). Ces tubulis contiennent les

prolongements des cellules odontoblastiques. Elle protège la pulpe dentaire, avec laquelle elle est étroitement liée. Sa formation est continue tout au long de la vie.

Elle est composée de 70% de phase minérale, 18% de matrice organique et 12% d'eau. La phase minérale comporte de la whitelockite, de l'apatite et de l'hydroxyapatite. La matrice organique se compose majoritairement de collagène, puis de protéines non collagéniques et de molécules de la matrice extracellulaire (phosphoprotéines, sialoprotéines, glycoprotéines, protéases, phospholipides ...).

Les prolongements cytoplasmiques d'odontoblastes traversent la dentine via les tubulis, de la pulpe où sont situés les corps cellulaires, jusqu'à la jonction amérodentinaire. On les appelle aussi fibres de Tomes. Autour des canalicules, on retrouve la dentine pérítubulaire, entourée de dentine intertubulaire. Les tubulis sont organisés parallèlement, et leur nombre croît à mesure que l'on se rapproche de la pulpe. C'est également le cas de leur diamètre, estimé à 0,5 microns dans la dentine périphérique et à 3 microns dans la dentine juxtapulpaire. La dentine pérítubulaire est très minéralisée, et sa formation s'accélère en cas d'agression externe.

1.1.2. Processus chimique

La cavité orale présente une flore bactérienne complexe. À la surface des dents, un biofilm est en constante évolution ; c'est ce que l'on appelle plus communément la plaque dentaire. Les bactéries adhèrent à la dent par la pellicule exogène acquise, composée de protéines et de glycoprotéines qui se lient aux cristaux d'hydroxyapatite. Par des mécanismes complexes d'agrégation puis de co-agrégation, différentes bactéries se fixent à cette pellicule (5).

En cas d'hygiène bucco-dentaire insuffisante, une contamination de ce biofilm se crée. Les nombreuses bactéries qui le composent (*Streptococcus*, *Actinomyces*, *Lactobacillus*) sont cariogènes : elles transforment les sucres fermentescibles présents dans l'alimentation en acides organiques. Ce procédé de fermentation lactique (6) a lieu quand les bactéries métabolisent un sucre, par exemple ici le glucose (issu de la dégradation du saccharose, très présent dans l'alimentation) en acide lactique, suivant la réaction suivante : $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_3H_6O_3$. Dans la formule chimique développée de l'acide lactique, on notera la présence

d'un groupe carboxyle COOH. Ce dernier provoque, en présence d'eau, une acidification : $C_3H_6O_3 + H_2O = C_3H_5O_3^- + H_3O^+$. C'est ainsi que le pH de la salive diminue.

Ce sont ces acides qui engendrent une déminéralisation de l'organe amélaire, quand le pH est inférieur à 5,5. Ce phénomène a lieu pour la dentine à un pH inférieur à 6,5 (7). Une fois le seuil critique de pH inférieur ou égal à 5,5 atteint, les ions phosphate de calcium, qui constituent majoritairement l'émail, réagissent avec les ions oxonium H_3O^+ suivant cette réaction : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14 H_3O^+ \rightarrow 10 Ca^{2+} + 6 H_2PO_4^- + 16 H_2O$. C'est le mécanisme de déminéralisation de l'émail : les ions calcium Ca^{2+} et dihydrogénophosphate $H_2PO_4^-$ se solubilisent ; la trame amélaire perd des minéraux, une cavitation se crée.

La reminéralisation de l'émail est cependant toujours possible : en cas d'augmentation du pH, les ions calcium reforment du phosphate de calcium selon la réaction d'équilibre suivante : $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 14 H_3O^+ \rightleftharpoons 10 Ca^{2+} + 6 H_2PO_4^- + 16 H_2O$.

Les phases de déminéralisation des dents sont en constante alternance avec des phases de reminéralisation, de manière physiologique. La salive, grâce à son pouvoir tampon (son pH oscille entre 5 et 7,2) et la présence de fluor, de calcium et de phosphate permettent une reminéralisation. La maladie carieuse est le résultat d'un déséquilibre prolongé entre ces deux phénomènes. Quand la qualité et/ou la quantité de salive sont diminuées, que la production acide est augmentée de manière durable, c'est le processus de déminéralisation qui l'emporte, entraînant une destruction irréversible des tissus dentaires.

1.2. État des lieux des thérapeutiques actuelles

1.2.1. Généralités

Aujourd'hui, la maladie carieuse est la douzième maladie infantile selon l'OMS. La carie précoce de l'enfance (anciennement dénommée syndrome du biberon) en est une forme particulière, qui survient très tôt, en général entre 10 et 20 mois (8). La Soixante-Quatorzième Assemblée mondiale de la Santé (AMS) de l'OMS a approuvé en 2021 une résolution sur la santé bucco-dentaire, mettant en avant la prévention à grande échelle, au-

delà de l'approche curative traditionnelle, qui devra être incluse dans la couverture sanitaire universelle (4).

Les étiologies de la maladie carieuse sont nombreuses. Les comprendre permet d'améliorer la prise en charge globale du patient, autant d'un point de vue préventif que curatif. La trilogie de Keyes, établie en 1962, décrit trois facteurs indispensables à l'apparition d'une lésion carieuse (5) : l'alimentation, la présence de bactéries cariogènes au sein de la plaque dentaire, et la capacité de défense de l'hôte, c'est-à-dire la capacité de protection de la dent face aux agressions. En 1987, König et Newbrun rajoutent ensuite un quatrième facteur, le temps, sans lequel la pathologie carieuse ne peut apparaître puis évoluer. C'est ce dernier qui permet, grâce à des facteurs protecteurs et/ou préventifs, de garder un équilibre en faveur de la reminéralisation des tissus durs dentaires. En 2007, Fisher et Owens reprennent les bases de ce schéma pour y inclure tout un volet comportemental, pour approcher de manière bio-psycho-sociale l'étiopathologie (9).

1.2.2. Problématiques socio-économiques

La maladie carieuse est considérée comme une pathologie chronique, en raison de sa récurrence : en effet, un enfant ayant déjà eu une carie a statistiquement plus de chances d'en avoir de nouvelles. Elle entraîne une cascade de conséquences préjudiciables, notamment une diminution de la qualité de vie de l'enfant, mais aussi de sa famille proche, et ce quel que soit leur statut socio-économique (10).

La présence d'une seule carie a déjà une influence négative sur le score OHRQoL (*Oral Health-Related Quality of Life*) (11). Ce sont les enfants ayant le plus de dents cariées qui témoignent d'une plus grande diminution de leur qualité de vie. Logiquement, ce sont les enfants qui ont le plus de problèmes comportementaux liés aux soins dentaires qui perdent le plus en qualité de vie, évaluée grâce au score ECOHIS (*Early Childhood Oral Health Impact Scale*). Les conséquences négatives de la maladie carieuse les plus souvent citées par les responsables parentaux sont les douleurs dentaires, la difficulté à s'alimenter et la culpabilité parentale (12).

Le cercle social entourant l'enfant est déterminant pour son avenir bucco-dentaire. À l'école primaire, un enfant ayant un environnement éducationnel stable, une connexion familiale

forte et résiliente aura statistiquement moins de caries (14). Il existe un lien direct entre le niveau de littératie des parents et l'hygiène bucco-dentaire de l'enfant : les comportements d'hygiène orale, qu'ils soient satisfaisants ou non, se transmettent avec l'éducation (13). Une faible qualité de l'alimentation (aliments préparés à forte teneur en sucres, peu de fruits et légumes, grignotages fréquents) est directement corrélée au nombre de lésions carieuses dont souffre un enfant (14).

Des complications bucco-dentaires dès le plus jeune âge ont également un impact sur la qualité de vie future : la perte précoce de dents temporaires entraîne des malocclusions en denture permanente, ayant un impact direct sur la qualité de vie des adolescents (préjudice esthétique, baisse de l'estime de soi, santé mentale, limitations fonctionnelles) (16).

En France, les soins ne sont pas toujours accessibles ; c'est d'autant plus vrai pour les spécialités, telles que l'odontologie pédiatrique. Géographiquement, la densité en chirurgiens-dentistes varie fortement ; certains espaces souffrent d'une sous-densité de praticiens associée à une surdensité de patients en situation défavorisée, ayant un besoin de soins dentaires important (15). Ce problème est l'objet du travail des Permanences d'Accès aux Soins de Santé (PASS) bucco-dentaires.

Tous ces paramètres socio-économiques sont à prendre en compte dans la prise en charge globale des patients : la prévention doit occuper une grande part de la première consultation, et les plans de traitements proposés doivent répondre aux besoins des enfants et familles, afin de les inscrire durablement dans un parcours de soins adapté.

1.2.3. Limites des soins conventionnels

L'imaginaire collectif associe malheureusement encore trop souvent soins dentaires et anxiété. L'utilisation de rotatifs pour un soin de carie peut entraîner une certaine sensibilité dentinaire ; la stimulation mécanique et l'augmentation de la pression sur la dent soignée, le bruit et les vibrations conduites dans l'os, l'augmentation de la température peuvent créer des agressions difficilement supportables pour un enfant en bas âge ou un patient phobique (16).

Il y a une corrélation directe et bilatérale entre le taux d'anxiété ressenti par un enfant avant un rendez-vous et un possible comportement inadéquat pendant celui-ci (17). Des expériences déplaisantes répétées associées à une anxiété forte, rapportée par les responsables légaux de l'enfant, sont les premiers facteurs menant à une indication d'anesthésie générale (18). Cette anxiété crée un refus de soins qui perturbera la relation aux soins de l'adulte en devenir ; il est donc primordial pour un enfant que les premières visites chez le chirurgien-dentiste soient des expériences de soins réussies.

La sédation, consciente ou inconsciente, est une tentative de réponse à l'échec de soins en odontologie pédiatrique. La coopération de l'enfant peut être améliorée grâce à l'utilisation de gaz MEOPA, ou de prémédication anxiolytique, seule ou en association. Si cette sédation consciente s'avère insuffisante, l'anesthésie générale est un dernier recours thérapeutique. Malgré un bon résultat en termes de prise en charge de la douleur bucco-dentaire pour les patients à besoins spécifiques, elle ne permet pas une solution de soins pérenne, car elle n'aide pas à l'apprentissage de la coopération du patient, et ne sera donc bénéfique sur le long terme qu'accompagnée d'éducation thérapeutique réalisée dans le cadre d'un suivi dentaire régulier. De plus, les soins réalisés sous AG ne sont pas forcément plus pérennes que ceux réalisés en cabinet de ville : par exemple, une étude sur la longévité des composites montre que leur taux de succès à 30 mois est similaire, quelles que soient les conditions de sédation lors du soin primaire (19).

Face à ces constats, on comprend que les soins sous sédation ne doivent pas être systématiques, mais bien réalisés qu'en cas de nécessité établie. Trouver de nouveaux moyens de faciliter les soins au fauteuil, de manière efficace et rapide, à travers des techniques de traitements atraumatiques, semble être une priorité dans la prise en charge bucco-dentaire de la majorité des patients : c'est l'objectif de la technique SMART.

2. Soigner différemment : le SMART

2.1. La thérapeutique restaurative atraumatique

2.1.1. Cahier des charges

La pandémie de COVID-19 a été le point de départ de nombreuses réflexions sur l'exercice de la médecine dentaire. Les pays occidentaux ont été contraints, pendant la période de confinement, à repenser la manière de prodiguer les soins ; les recommandations sanitaires gouvernementales ont mis en avant les soins sans aérosols, pour minimiser les risques de transmission et contamination des personnels soignants (20).

Les soins dentaires classiques génèrent des aérosols (diamètre moyen inférieur à 5 µm) et des gouttelettes (diamètre moyen supérieur à 5 µm) pouvant transmettre des pathogènes affectant le système respiratoire, tels que le virus SARS-CoV-2. Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS ou WHO) de 2020, après que la pandémie mondiale ait été déclarée, enjoignent à privilégier les procédures de soins minimalement invasives, avec des instruments manuels, pour les soins bucco-dentaires (21).

Au-delà de ces considérations liées au contexte épidémique mondial, la dentisterie contemporaine tend vers une approche plus prophylactique, plus conservatrice. La notion de préservation de l'intégrité des tissus dentaires associée à celle du gradient thérapeutique est prépondérante (22).

En odontologie pédiatrique particulièrement, on retrouve une volonté de simplifier les soins, d'être le moins invasif possible, pour augmenter l'acceptation des soins par les patients très jeunes, ou les patients à besoins spécifiques.

On cherche à réduire le coût en temps, en argent, en énergie, pour obtenir un résultat thérapeutique idéal : des dents asymptomatiques, esthétiques au possible, qui permettent la fonctionnalité : phonation, déglutition, respiration, et donc un bon développement physiologique, intellectuel et social de l'enfant (10,23).

Ce paradigme s'inscrit dans une démarche centrée sur le patient, en accord avec les principes de l'approche cognitivo-comportementale au sein du cabinet dentaire (24). La volonté de

rendre accessibles à tous les soins bucco-dentaires de base, financièrement et géographiquement, implique une formation initiale et continue du personnel soignant, de l'équipement, la mise en place d'un système de gestion, l'intégration dans la communauté de soins préexistante, mais aussi la définition d'un Paquet Minimal d'Activité (PMA).

L'*Integrated Package for Basic Oral Care* (IPBOC) est la réunion de plusieurs concepts qui peuvent facilement s'intégrer dans le système préexistant de soins, sans lui faire de concurrence, sans créer un système de soins parallèle ou à deux vitesses. Il englobe les traitements d'urgences bucco-dentaires, le matériel de brossage dont les dentifrices fluorés, et l'*Atraumatic Restorative Treatment*. Il intègre les acteurs locaux, les infrastructures et équipements, ainsi que les besoins en santé de la population (25). C'est un concept prépondérant dans l'action associative au sein des pays en voie de développement.

2.1.2. Historique

On retrouve les prémices de l'*Atraumatic Restorative Treatment* en Tanzanie, au milieu des années 1980. Le Dr. Frencken, en collaboration avec un programme de recherche engagé par l'université de Dar el Salaam, cherche une solution efficace, rapide et peu coûteuse pour soigner le plus grand nombre. En 1992, au sommet africain de l'IADR (*International Association for Dental Research*), à Harare, S. Thorpe, conseiller régional spécialisé en santé orale, avance que « plus de 90% des lésions dentinaires sur le continent Africain sont non traitées ». C'est face à ce besoin évident que la technique ART se développe, d'abord dans les pays en développement, avant d'arriver en Europe.

Sa conceptualisation marque le début de la dentisterie micro-invasive, également appelée dentisterie à intervention minimale (26).

2.1.3. Principes clés

Le soin d'une lésion cavitaire requiert l'élimination des tissus carieux infectés. Le cahier des charges de cette procédure peut se résumer ainsi (27):

- Confort et facilité d'utilisation clinique ;

- Capacité à reconnaître et éliminer seulement les tissus infectés ;
- Silence opératoire, absence de douleur ;
- Absence de chaleur, de pression ou de vibrations désagréables sur la dent soignée ;
- Faible coût et facilité de réintervention.

Une étude de 2006 a comparé quatre différentes méthodes d'excavation dentinaire sur dents temporaires : la fraise en carbure de tungstène, la fraise en polymère, le laser *Er-Yag* et les instruments manuels. Leur efficacité en terme de temps de soin, de qualité de préparation (sur-préparation ou sous-préparation) ont été étudiées (28).

Les résultats peuvent être résumés ainsi :

- Vitesse de travail : fraise carbure > fraise en polymère > instrumentation manuelle > laser
- Défaut de préparation de la cavité : fraise en polymère > laser > instrumentation manuelle > fraise carbure
- Meilleure coïncidence entre limite de préparation et limite de la lésion carieuse : instrumentation manuelle > fraise en polymère > fraise carbure > laser.

Les auteurs en concluent que l'instrumentation manuelle, bien que nécessitant un temps de soin un peu plus important, reste la méthode la plus efficace pour réaliser une excavation dentinaire sur dents temporaires (28).

La qualité de cette excavation manuelle reste cependant fonction de plusieurs facteurs. La taille de l'ouverture occlusale permettant l'accès à la lésion carieuse semble déterminante. Pour obtenir une cavité propre, un diamètre d'au moins 1,6 millimètres semble nécessaire pour pouvoir avoir un accès correct aux tissus infectés (29,30).

L'excavation manuelle n'a pas systématiquement besoin d'être complète, bien que le gold standard de l'enseignement académique ait longtemps été le *drill and fill*, c'est-à-dire l'élimination chirurgicale totale des tissus déminéralisés et contaminés par des instruments rotatifs, le plus souvent sous anesthésie locale. De nouvelles réflexions thérapeutiques s'orientent vers une dentisterie a minima, qui permet une excavation partielle des tissus infectés et affectés, pour respecter le gradient thérapeutique.

En effet, laisser un peu de dentine affectée en fond de cavité permet de réduire le risque de proximité para-pulpaire, mettant en jeu la vitalité de la dent soignée, tout en n'augmentant

pas le risque infectieux. Quand elle est accompagnée d'une restauration étanche, l'élimination totale de la dentine affectée n'est pas nécessaire à l'arrêt de la lésion carieuse (37,39).

Ci-dessous, un schéma des couches dentinaires successives au sein d'une lésion carieuse profonde. La dentine nécrotique n'est composée que de débris, qui peuvent être excavés manuellement ; la dentine infectée accueille de nombreuses bactéries : ces tissus doivent être éliminés pour éviter toute reprise carieuse future. La dentine affectée peut être seulement désinfectée, par l'action du FDA ou d'un simple acide polyacrylique, par exemple.

La dentine sclérotique agit comme une barrière protectrice : elle est hyperminéralisée, les tubulis sont oblitérés pour prévenir la pénétration plus profonde d'agents bactériens. La dentine tertiaire, également appelée appositionnelle, est une auto-réparation de la dent, pour conserver la vitalité du complexe dentino-pulpaire (34).

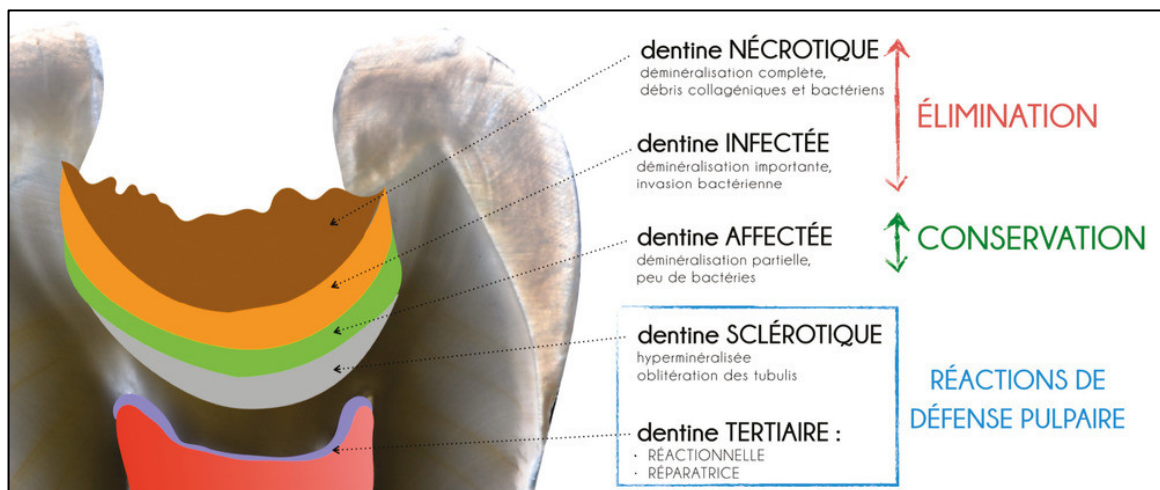


Figure 1 : Différentes couches de dentine au sein d'une carie et réactions pulpaires associées (De Belenet, Meyer, *Biomatériaux Clinique* n°2, octobre 2020)

Dans cette même optique d'économie tissulaire, la mise en place de scellement de sillons, même en présence de caries débutantes, montre une baisse significative de la présence bactérienne sous ces derniers (35).

Pour les patients ayant une coopération limitée au fauteuil, ou en cas de difficultés pendant les soins, une lésion carieuse dentinaire peut être soignée sans excavation des tissus infectés, grâce à l'utilisation du FDA. Il reste tout de même nécessaire de nettoyer les débris alimentaires pour que la solution puisse être en contact direct avec les tissus cariés (36).

2.2. Le Fluorure diamine d'argent, l'iodure de potassium

2.2.1. Historique

Cela fait plus de mille ans que le nitrate d'argent AgNO_3 est utilisé en médecine dentaire ; il permettait un noircissement esthétique des dents dans le Japon médiéval, appelé *ohaguro* (37).

En 1891, un protocole d'arrêt de caries à l'aide de nitrate d'argent a été étudié (38).

Le FDA a été conçu et développé au Japon à la fin des années 1960 par l'équipe de chercheurs des Docteurs Ninshino et Yamaga (39). Sa première commercialisation date de 1970, sous le nom de *Saforide* © (*Bee Brand Medico Dental Co, Ltd, Osaka, Japon*) avec la même concentration de 38% de fluorure diamine d'argent qu'aujourd'hui, ce qui correspond à 44800 ppm d'ions fluorures.

D'autres formules commerciales ont ensuite vu le jour partout dans le monde, notamment en Australie (40), en Argentine, au Brésil et en Europe.

Depuis les années 2000, de nombreuses études cliniques ont analysé l'efficacité du FDA, en comparaison à un traitement classique, ou à l'application de vernis fluoré seul par exemple (36,41), mettant en évidence son efficacité dans l'arrêt des lésions carieuses.

En 2014, la Food and Drug Administration approuve l'utilisation du FDA aux États-Unis pour la désensibilisation dentinaire pour les adultes. Cette autorisation est suivie en 2015 de la commercialisation de l'*Advantage Arrest* © (*Elevate Oral Care, LLC, West Palm Beach, FL*), également dosé à 38% de FDA (42).

Le FDA est inscrit parmi les médicaments essentiels de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) depuis septembre 2021 (43).

Aujourd'hui, le FDA est de plus en plus utilisé ; il fait partie intégrante de la plupart des formations universitaires pour devenir chirurgien-dentiste, notamment aux États-Unis (44).

C'est un produit au coût relativement faible, commercialisé par plusieurs laboratoires. En France, le plus communément vendu est le *Riva Star*TM de la firme *SDI*. Il se compose de deux flacons, le premier contenant du fluorure diamine d'argent à concentration de 38% et le second de l'iodure de potassium.

La dernière innovation est le *Riva Star*TM Aqua, dont le premier flacon ne contient pas d'ammoniac, évitant ainsi une odeur désagréable pour le patient (45). C'est ce produit que nous utiliserons dans notre expérimentation en laboratoire (partie 3).



Figure 2 : Conditionnement du Riva Star Aqua (GC) : à gauche les capsules de FDA, à droite les capsules d'iodure de potassium (iconographie personnelle).

2.2.2. Chimie

Le fluorure diamine d'argent est composé d'un ion diamine d'argent et d'un ion fluorure. Sa formule chimique est $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$. C'est une solution aqueuse incolore, de pH basique (pH=10) (46).

L'ion diamine d'argent contient deux molécules d'ammoniaque liées à un ion argent, lui conférant une plus grande stabilité, et le rendant moins oxydable.

2.2.3. Actions antibactériennes et protectrices

L'application de fluorure diamine d'argent entraîne une réaction chimique avec l'hydroxyapatite contenue dans les tissus amélaire et dentinaire, libérant des ions fluorure de calcium CaF_2 et du phosphate d'argent Ag_3PO_4 .

Lors d'une baisse de pH intra-buccal due à une attaque acide, le fluorure de calcium rend disponible des nombreux ions fluor dans la cavité buccale ($\text{CaF}_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^-$), qui formeront des cristaux de fluoroapatite selon la réaction suivante : $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 + 2\text{F}^- \rightarrow \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 2\text{OH}^-$ (47). Ces cristaux sont plus stables, moins solubles et plus compacts que les cristaux d'hydroxyapatite non fluorés : ils sont donc un frein à la déminéralisation amélaire.

Les ions fluor ont également un effet directement anti-bactérien. Ils sont capables de pénétrer la membrane bactérienne pour inhiber certaines enzymes de la glycolyse, comme l'énolase. Ils pénètrent également dans les tubulis dentinaires (à une profondeur allant jusqu'à 100 μm) pour empêcher leur colonisation par des micro-organismes pathogènes (48) ; les ions argents restent quant à eux plus en surface de la lésion carieuse. L'application de FDA permet la formation de précipités d'argent stables dans les tubulis dentinaires (analyse EDX, *Energy Dispersive X-Ray analysis*, identifiant les éléments chimiques composant le matériau étudié, ici la dentine tubulaire) : cela crée des propriétés antimicrobiennes et donc anti cariogéniques, en limitant le risque de caries secondaires sous les restaurations. Cette obturation permet également de diminuer les sensibilités post-opératoires. La profondeur de pénétration des ions argent a été étudiée mais les résultats sont très variables, avec un écart type important, car dépendants de nombreux paramètres inter-individuels comme l'orientation et le diamètre des tubulis, l'absence de vitalité et donc de pression pulpaire dans les dents étudiées (49).

On peut observer sur la figure suivante une hyperminéralisation de la dentine tubulaire et une obstruction des tubulis suite à un traitement au FDA ; le collagène dentinaire est ainsi protégé (50).

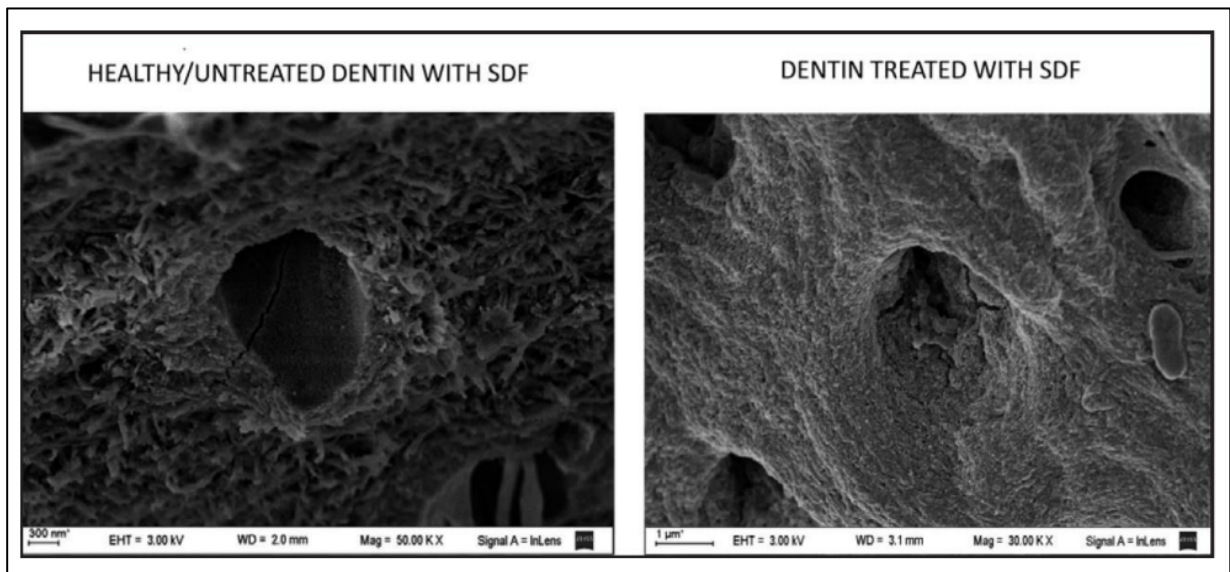


Figure 3 : Images en MEB de tubulis dentinaires avec et sans traitement au FDA (Rossi et coll, 2017) : les canalicules apparaissent obstrués sur l'image de droite, notamment par les ions argent.

Le phosphate d'argent, quant à lui, est insoluble en milieu acide. Il agit directement sur les bactéries en se liant aux fonctions thiols (ayant un groupe sulfhydryle) des acides aminés et nucléiques bactériens, réduisant l'acidogénicité de la plaque dentaire.

Même à faible concentration, l'argent a une efficacité antibactérienne élevée, grâce à son effet oligodynamique. Les ions argent inhibent le métabolisme et la reproduction des bactéries par trois actions : destruction des membranes cellulaires, dénaturation de leurs protéines et inhibition de la répllication de leur ADN. Les ions Ag^+ s'accumulent dans l'enveloppe de la cellule et induisent la séparation de la membrane cytoplasmique et de la paroi cellulaire des bactéries Gram + et Gram -. Ils provoquent un état de stress : le métabolisme est maintenu mais la croissance bactérienne arrêtée : on parle d'état « actif mais non cultivable » (51).

Différentes bactéries cariogènes sont sensibles à l'action du FDA, dont le *Streptococcus Mutans*, le *Streptococcus Sobrinus*, le *Lactobacillus acidophilus*, le *Lactobacillus rhamnosus*, l'*Actinomyces naeslundii*.

L'application de FDA réduit le potentiel de formation d'un biofilm bactérien (52). Une étude in vitro sur des disques de dentine déminéralisée montre l'effet protecteur des ions argent résiduels et des fluorures contre la colonisation par le *Streptococcus mutans* (53). Ils auraient un effet bactéricide rémanent, restant disponibles au sein des bactéries déjà lysées pour en

inhiber de nouvelles qui pourraient potentiellement se redévelopper sur la surface cariée. L'étude ayant objectivé ce phénomène en premier parle d' « effet zombie » (54).

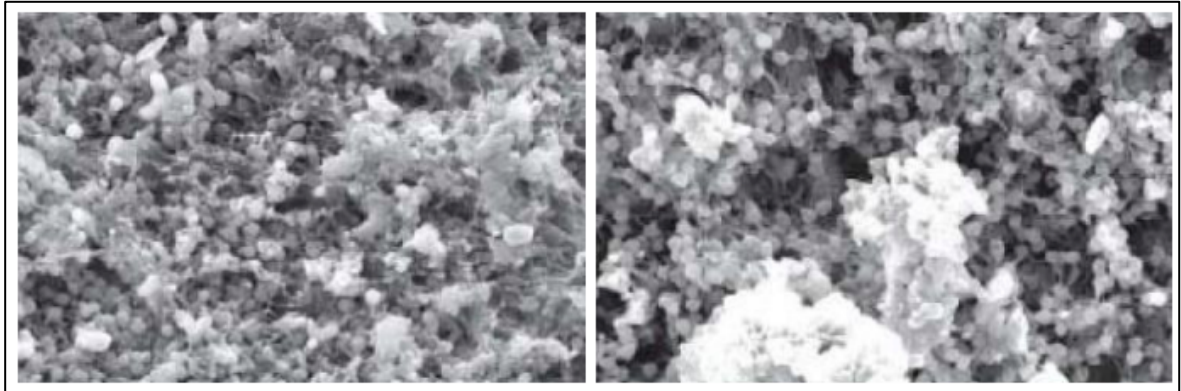


Figure 4 : Images en MEB d'une surface dentinaire non traitée au FDA (Knight et coll., 2009)

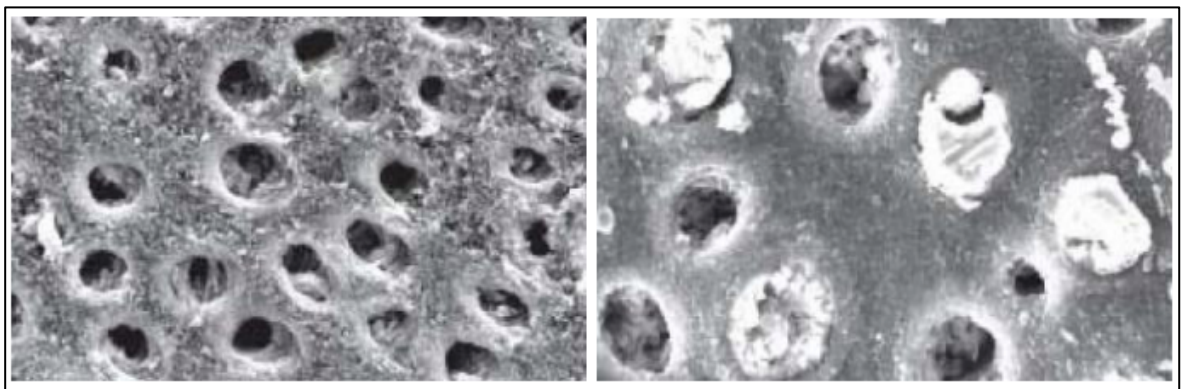


Figure 5 : Images en MEB d'une surface dentinaire traitée au FDA (Knight et coll., 2009)

Les lésions carieuses sont créées notamment par l'action d'enzymes protéolytiques, dont font partie les métallo-protéinases matricielles et les cathepsines. Elles dégradent la dentine exposée en agissant sur ses composants : matrice extra-cellulaire, protéoglycanes et collagène. Par un mécanisme d'acidification du cytoplasme par le fluorure transporté sous forme d'acide fluorhydrique (HF devant H^+ et F^-), le FDA a un effet inhibiteur sur certaines enzymes protéolytiques contribuant à la dégradation du collagène (MMP-2, 8 et 9, cathepsines B et K). Il aurait donc un effet protecteur sur le collagène dentinaire (55).

2.2.4. Indications

Il existe différentes concentrations en fluorure diamine d'argent suivant les formules commerciales.

Une étude, publiée en février 2018, dans le journal américain *Journal of Dental Research* (56) a comparé l'efficacité des concentrations à 12% et 38% de FDA, de manière annuelle ou biannuelle. Pendant 30 mois, des enfants entre 3 et 4 ans, présentant au moins une lésion carieuse active et cavitaire, ont été randomisés dans quatre groupes différents (variations des concentrations en FDA et des fréquences d'application). Les conclusions montrent que le FDA est plus efficace à une concentration de 38% que 12% (56)(54). Une application tous les 6 mois, plutôt que tous les ans, chez les enfants ayant une hygiène bucco-dentaire peu satisfaisante réduit la quantité de plaque dentaire.

Les instructions d'usage préconisent une application durant trente à soixante secondes de FDA sur la lésion carieuse avec séchage à l'air libre. Ces recommandations ont été validées par une étude qui a comparé un temps d'application allant de dix secondes à trois minutes, avec rinçage ou non après application (58).

Une étude suggère que le temps d'application n'est pas corrélé à l'arrêt des caries (59).

Une application par an de FDA est plus efficace qu'une triple application de vernis fluoré en une semaine pour arrêter une lésion cavitaire touchant la dentine (60). Plusieurs applications sont nécessaires pour un résultat optimal ; l'arrêt de la progression d'une lésion carieuse sur dents temporaires est plus efficace si du FDA est réappliqué six mois après la première application, plutôt que tous les ans (36).

Une étude clinique randomisée, chez les adultes cette fois-ci, démontre une réduction importante de la sensibilité à l'air et au froid des lésions traitées par FDA par rapport à l'application d'un placebo (61).

Le FDA pourrait être une solution d'avenir pour le traitement des premières molaires atteintes de MIH (*Molars Incisives Hypomineralisation*), défaut amélaire développemental atteignant une ou plusieurs molaires définitives, et entraînant des lésions carieuses à développement éclair, pouvant mener rapidement à l'extraction des dents concernées. La prévalence du MIH varie de 20% à 40% selon les sources. Peu d'études ont été menées sur le sujet, notamment en raison de la coloration définitive causée par le FDA, que les dentistes

sont donc plus enclins à utiliser sur dents temporaires. Pour des dents hypominéralisées hypersensibles, difficiles à anesthésier, l'application simple de FDA ou le recours à la technique SMART permettent une prévention efficace contre les caries amélaire, tout en procurant une désensibilisation efficace (62).

La coloration irréversible des tissus infectés est fonction du matériau de restauration utilisé après application de FDA. Selon une étude réalisée en 2022 (63), si la restauration est réalisée dans la même séance, la résine composite est une solution un peu plus esthétique que le CVI pour masquer la coloration noire de la lésion cavitaire. Si le traitement SMART est réalisé en deux séances, à quinze jours d'intervalle, les restaurations en résine composite et en CVI ont des résultats esthétiques similaires, qui sont sensiblement meilleurs à ceux réalisés en une seule séance. Cependant, un traitement en deux séances expose à un échec de soins, dans la mesure où certains patients ne respecteront pas le délai de prise du deuxième rendez-vous ou seront perdus de vue ; en cabinet, ce problème est à prendre en considération lors du choix initial du plan de traitement.

Plusieurs solutions ont été étudiées pour diminuer cette coloration préjudiciable ; la plus commune consiste en l'application d'iodure de potassium (contre-indiqué chez les femmes enceintes et allaitantes). L'application immédiate d'iodure de potassium après séchage du FDA (64) crée un précipité de tripotassium phosphate K_3PO_4 et d'iodure d'argent AgI , tous les deux sous forme de poudres blanches, selon la réaction suivante : $Ag_3PO_4 + 3 KI \rightarrow 3 AgI + K_3PO_4$. L'iodure d'argent est une poudre blanche-jaunâtre photosensible ; il y a donc un risque rémanent de coloration noire des joints de la restauration exposés à la lumière. Bien qu'elle ne soit pas optimale, l'utilisation d'iodure de potassium peut être justifiable pour le soin de patients où le besoin esthétique est important, par exemple pour des restaurations en secteur antérieur (3).

Une application d'hypochlorite de sodium a été envisagée pour éclaircir les lésions traitées au FDA ; cette solution n'est pas recommandée, les ions argent responsables de la coloration n'étant pas sensibles à l'effet de l'hypochlorite, contrairement aux protéines dentinaires qui pourraient être endommagées. L'hypochlorite pourrait être utilisée en pré-traitement, pour désinfecter la zone soignée, mais cela est déjà le rôle de l'argent présent dans le FDA ; il n'y a donc pas d'intérêt particulier à son utilisation (64).

2.2.5. Contre-indications, effets indésirables

Peu de contre-indications existent à l'utilisation du Fluorure Diamine d'Argent. Au-delà des considérations d'ordre esthétique, il faut surtout prendre en compte les risques allergiques. Le principal est une potentielle allergie à l'argent.

L'iodure de potassium est contre-indiqué chez les femmes enceintes et allaitantes (risques de fonction thyroïdienne anormale, de goitre pour le fœtus (3)) ; a priori il ne présente pas de problème particulier pour une utilisation chez l'enfant.

Il existe également une contre-indication en cas de stomatite ou de gingivite desquamative, ou mucosite (65). Le FDA peut causer une irritation passagère de la muqueuse gingivale. Les tissus affectés peuvent se colorer transitoirement en blanc pour un ou deux jours (55). Il est conseillé de prendre des précautions particulières et de reporter quand cela est possible l'application de FDA en cas de proximité directe avec une plaie non cicatrisée, d'une pathologie inflammatoire des tissus mous ou d'une chirurgie récente (41).

Un autre effet indésirable esthétique peut être la coloration marron foncé des gencives et de la peau adjacentes aux dents soignées. Le risque de coloration peut être atténué par l'application d'un corps gras ou de beurre de cacao autour de la dent à soigner, ou de matériaux d'isolation comme des cotons ou une digue dentaire. Il est tout de même préférable de prévenir les parents et l'enfant de la possibilité d'une coloration, qui ne durera que quelques jours (46).

Le FDA tâche également les plans de travail et les habits de manière irréversible ; les tâches peuvent cependant être atténuées grâce à l'iodure de potassium cité précédemment.

2.2.6. Pharmacocinétique, toxicité

La pharmacocinétique du FDA a surtout été étudiée chez l'adulte (61). Après une application de FDA en bouche, la concentration maximale sérique en fluorure est atteinte au bout de trois heures et la concentration maximale sérique en argent en 2h30. Cette dose est inférieure aux recommandations de l'*Environmental Protection Agency* (EPA) américaine pour le fluor ; pour l'argent, elle est supérieure mais acceptable dans le cadre d'une utilisation

ponctuelle. Dans toutes les configurations, ces doses sont bien inférieures aux seuils toxiques chez l'adulte.

Une goutte de FDA de 0,05 millilitres, concentré à 38% soit 44 800 ppm de fluor, est une dose suffisante pour le traitement de plusieurs dents cariées. Cela correspond à 2,24 mg d'ion fluorure par application de FDA, ce qui est moins de la moitié de la dose (5,65 mg d'ion fluorure) présente dans une dose unitaire de 0,25 millilitres de vernis fluoré à 5%, et moins de tiers de la dose (9,04 mg d'ion fluorure) présente dans une dose standard de 0,4 millilitres de vernis fluoré à 5% (type *Profluorid Varnish* © commercialisé en France par *Voco* (66)) (58).

Toutes ces données ayant été étudiées, on peut conclure que chez l'enfant de plus de 10 kilogrammes, l'application d'une goutte de FDA tous les six mois ne semble pas présenter de toxicité (67). Les dosages sanguins suite au traitement restent sous les valeurs toxicologiques chroniques de référence (68).

2.2.7. Acceptation du traitement

En raison de la coloration irréversible des tissus cariés que le FDA cause, cette alternative thérapeutique peut parfois être difficilement acceptée par les patients et leurs parents.

De nombreuses études ont été menées sur l'acceptation parentale du traitement ; la facilité d'application, le goût et l'esthétique ont été perçus plutôt favorablement (59).

Les parents préfèrent majoritairement accepter un préjudice esthétique plutôt que prendre le risque d'un traitement plus long, plus coûteux, et potentiellement plus douloureux pour l'enfant (69). Ainsi, l'acceptation du traitement par les parents augmente proportionnellement aux difficultés comportementales de leur enfant lors des soins dentaires, surtout quand le FDA permet d'éviter une sédation telle que l'anesthésie générale (70).

L'acceptation esthétique du traitement par les parents varie selon les régions du monde, et suivant le statut socio-économique de la famille. Une étude chinoise démontre une satisfaction parentale de 62 à 71% (67) quant à la coloration définitive des dents au FDA ; une étude menée aux États-Unis révèle une satisfaction de 67,5% des parents pour des soins

sur des dents postérieures, chiffre qui chute à 29,7% de satisfaction suite à une application de FDA sur dents antérieures (70).

Un essai clinique randomisé de 2018 a étudié la satisfaction des parents à la suite d'un traitement bi-annuel ou annuel, au FDA à 12 % ou 38%. Les parents ont été questionnés sur l'apparence dentaire de leurs enfants au début de l'essai puis trente mois plus tard ; leur satisfaction n'était pas statistiquement différente dans les quatre groupes randomisés (67).

Enfin, pour ce qui concerne le bien-être du patient : une étude menée à Hong Kong en 2021 suggère que l'OHRQoL (*Oral Health-related quality of life*) est directement associée au nombre de caries d'un enfant, mais pas à la manière dont elles sont soignées : l'OHRQoL déclarée est similaire suite à une application de FDA ou d'un placebo (71).

L'anxiété d'un enfant lors d'une consultation dentaire est la première cause d'évitement des soins ; une étude brésilienne a démontré un niveau d'anxiété égal lors d'un traitement en ART et lors d'une application de FDA, suggérant que l'anxiété n'est pas directement reliée au type de traitement mais à de nombreux autres facteurs externes à la technique de soin en elle-même (72).

Le FDA a un goût métallique peu plaisant (55), qu'il est possible de masquer ou d'atténuer à l'aide d'une application concomitante de vernis fluoré, plus apprécié des enfants.

2.2.8. Effets sur la pulpe dentaire

Une innocuité relative par rapport au complexe dentino-pulpaire a été rapportée (64).

En effet, un coiffage pulpaire indirect n'entraîne pas de réponse inflammatoire. Une étude de 2015 a même relaté une apposition de dentine tertiaire chez plus de la moitié des échantillons étudiés, marquant un processus de cicatrisation des dents soignées (73).

2.3. SMART : Protocole clinique avec iodure de potassium

Les paragraphes suivants explicitent le protocole clinique de soin d'une lésion carieuse à l'aide de fluorure diamine d'argent et d'iodure de potassium, suivant les dernières recommandations scientifiques.

2.3.1. Consentement éclairé

Traitement relativement nouveau sur le marché français, peu de patients connaissent le Fluorure Diamine d'Argent. Le praticien doit donc expliquer aux parents, ainsi qu'à l'enfant, les principes, risques et alternatives du traitement, dans un langage approprié. Certains cabinets de pédodontie exclusive, qui utilisent régulièrement le produit, font signer des formulaires de consentement éclairé.

En annexe 1 : un exemple de formulaire de consentement préalable à une application de FDA en cabinet de ville.

2.3.2. Matériel

- Miroir, sonde et précelle
- Ciseaux à émail
- Excavateurs manuels de type curettes dentinaires
- Éventuellement une turbine et une fraise boule diamantée de faible diamètre
- Une goutte de FDA dans un premier godet
- Une goutte de KI dans un deuxième godet
- Acide polyacrilique
- Capsule de CVI haute viscosité
- Pistolet à CVI
- Cotons salivaires ou autre moyen d'isolation de la dent soignée

- Micro applicateurs (*microbrush*) avec une taille de tête adaptée à la cavité carieuse traitée
- Beurre de cacao ou corps gras de type *Vaseline* ©.

2.3.3. Optionnel : préparation de la cavité

- Élimination des parois d'émail non soutenus à l'aide d'un ciseau à émail.
- Ouverture amélaire à la turbine et la fraise diamantée boule de petite taille (reste possible, même si elle ne s'inscrit pas dans la technique ART).
- Excavation manuelle partielle des copeaux de dentine affectée, notamment sur les bords de la cavité.

2.3.4. Application de FDA + IP

- Isolation de la carie, idéalement sous digue dentaire. Si la coopération du patient n'est pas suffisante, la mise en place de tout autre dispositif d'isolation salivaire (*Isolite* ©) est également possible. Des rouleaux de coton placés dans le vestibule et en lingual/palatin seront sinon maintenus pendant toute la durée d'application.
- Sécher à l'air ou à défaut avec un coton la dent concernée.
- Plier et tremper un premier *microbrush* dans la solution de fluorure diamine d'argent.
- Appliquer sur la lésion carieuse pendant au moins 30 secondes, en massant par mouvements circulaires pour améliorer la pénétration du produit dans les tissus dentaires. La lésion se colore en noir.
- Sécher et remplacer les cotons salivaires si nécessaire.
- Plier et tremper un deuxième *microbrush* dans la solution d'iodure de potassium.
- Appliquer sur la lésion carieuse pendant au moins 30 secondes, en massant par mouvements circulaires pour améliorer la pénétration du produit dans les tissus dentaires. Renouveler l'application autant de fois que nécessaire.
- Rincer doucement, sécher et remplacer les cotons salivaires si nécessaire.

- Plier et imbiber un troisième *microbrush* d'acide polyacrilique
- Appliquer sur la lésion carieuse par mouvements circulaires pendant 10 secondes, afin d'enlever le *smear layer* et de préparer la dentine à l'application de CVI.
- Rincer et sécher sans dessécher.
- Appliquer un système de matrice si nécessaire.
- Faire vibrer la capsule de CVI et la positionner dans le pistolet.
- Appliquer le CVI pour combler la cavité.
- Ne pas appliquer de *coat* photopolymérisable sur le CVI : la photopolymérisation oxyde les ions argent du FDA, noircissant de manière plus importante la dent soignée.

2.3.5. Instructions post-opératoires

- Possibilité de boire et de manger sans restriction après une application de FDA. Il faut tout de même conseiller au patient d'éviter les aliments collants ou trop durs, le CVI ayant un temps de prise complet de 24 heures.
- Gestion des tâches éventuelles : des colorations indésirables cutanées peuvent apparaître, elles partiront en quelques jours.
- Gestion de la fin du RDV : éventuelles questions de l'enfant ou des parents.
- Un suivi régulier est conseillé.

2.4. Soins SMART au Sénégal

Lors de mon voyage en Casamance, au sud du Sénégal, en avril 2022, nous avons effectué de nombreux dépistages dans les écoles isolées géographiquement.

Certains enfants n'avaient jamais bénéficié d'une consultation dentaire. Avec le Docteur Camille Espagno, nous avons été les premières pédodontistes à venir en Casamance grâce à l'association AMK.

Nous avons travaillé en alternance dans deux cabinets dentaires, construits par l'association, dans les villages d'Elinkine et de Diembering.



Figure 6 : L'équipe de la mission d'avril 2022 dans le cabinet d'Elinkine

En plus de ces journées de consultations, nous nous sommes rendues dans des écoles primaires éloignées géographiquement, notamment sur des îles uniquement accessibles par pirogues naviguant sur les bolongs (chenaux d'eau salée).

En arrivant dans l'école, nous animions un petit cours de prévention à propos des caries dentaires, suivi d'un dépistage dentaire de tous les élèves présents.

N'ayant que peu de matériel dentaire portatif, nous avons installé les enfants sur les tables et bancs d'école. Nous avons réalisé l'examen clinique à l'aide d'une lampe frontale en guise de scialytique, et de miroirs et sondes amenés en quantité.

Nous avons divisé les enfants en trois groupes :

- Les enfants non touchés par la maladie carieuse, à qui nous avons seulement appliqué du vernis fluoré si cela était nécessaire.
- Les enfants ayant de caries de petite ou moyenne étendue, non symptomatologiques : nous les avons soignés, quand cela était possible, avec un curetage manuel, une

application de FDA et quand la cavité le permettait, la mise en place d'une restauration en CVI (*Fuji Triage* © de GC à spatuler).

- Les enfants ayant des caries de grande étendue ou symptomatologiques : nous avons programmé leur venue dans les cabinets dentaires les plus proches pour réaliser les soins nécessaires (pulpotomies, pulpectomies, avulsions, etc.).



Figure 7 : Ergonomie de soins SMART en avril 2022 dans une école de l'île de Karabane

2.5. Cas cliniques iconographiés

2.5.1. Cas 1



Figure 8 : Application de FDA sur une carie vestibulaire de la 62



Figure 9 : Application d'iodure de potassium



Figure 10 : Deux minutes après application du FDA + IP : on peut observer l'apparition d'une coloration des joints de la lésion carieuse, ainsi que d'un précipité plus clair



Figure 11 : Dix minutes après application du FDA + IP, la lésion carieuse est complètement colorée.



Figure 12 : Mise en place d'une strip crown (Frasaco ©) remplie d'Equia Forte © (GC)



Figure 13 : Vue d'ensemble de l'occlusion après restauration de la 52

2.5.2. Cas 2



Figure 14 : Soins SMART des caries disto-linguale de la 84, mésiale et occlusale de la 74. On peut noter les nombreuses déminéralisations des faces vestibulaires qui ont été fluorées, et nécessitent une surveillance régulière.

2.5.3. Cas 3



Figure 15 : Soins SMART des caries interproximales de 84 et 85, occlusale de 85 et scellement de sillons de la dent 46.

Protocole : un ciseau à émail permet une ouverture cavitaire par élimination des ponts d'émail non soutenus. L'excavation manuelle des copeaux de dentine affectée est réalisée à l'aide d'une curette manuelle. Du FDA est appliqué, par mouvements circulaires, pendant 60 secondes, suivi d'un rinçage rapide. Une goutte d'acide polyacrilique par cavité est appliquée avec un microbrush, toujours par mouvements circulaires, pendant 10 secondes. Un rinçage complet est effectué, avec aspiration car la coopération du patient le permet. À cette étape, on remarque le noircissement progressif des lésions carieuses. Les cavités sont isolées, puis un CVI haute viscosité (ici une capsule d'*Equia Forte* © de GC) est mise en place en technique *press finger*, immédiatement recouvert de beurre de cacao - et non pas de *coat* photopolymérisable qui accentuerait la coloration inesthétique des restaurations.

2.5.4. Cas 4



Figure 16 : Soins SMART d'une carie mésio-occlusale de la 75. Une coiffe pédodontique préformée en technique de Hall a été réalisée sur la dent 74 suite à une pulpotomie.

3. Expérimentation *in vitro* : effets de l'application de fluorure diamine d'argent et d'iodure de potassium sur l'assemblage Ciment Verre Ionomère-Dentine

3.1. État des lieux de la littérature

Pour un collage de résine composite sur de la dentine déminéralisée, une étude de 2019 démontre qu'une application de FDA ne compromet pas les valeurs de collage par rapport au groupe témoin avec *etching* à l'acide phosphorique puis rinçage. A contrario, le duo FDA et KI affaiblit le collage selon cette étude *in vitro* (74) ; ce n'est pas la conclusion de toutes les études menées sur le sujet, si les précipités produits de la réaction FDA/KI sont rincés, comme nous le verrons ultérieurement.

Concernant l'assemblage dentine - CVI, les études concluent à des résultats divergents.

Une étude égyptienne de 2021, menée sur un petit échantillon (n=20) conclut à une résistance au cisaillement significativement plus importante ($p = 0,003$) pour la dentine traitée avec du FDA ($11,92 \pm 3,35$ MPa) que pour la dentine traitée à l'eau distillée (SBS du groupe contrôle = $6,99 \pm 2,98$ MPa) (75).

Une étude indienne de 2020 sur dents temporaires ne conclut à aucune différence entre quatre traitements intéressants la dentine cariée, avant la mise en place d'un CVI : acide polyacrylique seul, FDA à 38% seul, *etching* à l'acide phosphorique et FDA à 38% ou FDA à 38% et solution d'iodure de potassium à 10% (83). Une étude sur la résistance au cisaillement de CVI assemblés sur de la dentine cariée n'admet pas de différence significative avec (résistance au cisaillement = $3,0 \pm 1,4$ MPa) et sans application de KI ($2,3 \pm 0,9$ MPa) secondairement au FDA, en comparaison au groupe témoin avec un rinçage à l'eau seul ($2,6 \pm 1,1$ MPa) (77).

Une autre étude comparant quatre groupes (*Etching* à l'acide phosphorique seul, *dentin conditioner* seul, *etching* puis FDA + KI avec rinçage du précipité, *etching* puis FDA + KI sans rinçage) aboutit à des résultats similaires (57). L'assemblage CVI-dentine est meilleur avec du *dentin conditioner* (2,40 MPa) qu'avec de l'*etching* (1,91 MPa). Le rinçage du précipité formé par la réaction FDA + KI (2,83 MPa), pendant au moins 30 secondes, améliore significativement l'adhésion du CVI en comparaison à une application de FDA +

KI avec un simple séchage à l'air libre. Cela corrobore les instructions d'utilisation du FDA qui recommandent un rinçage après application d'iodure de potassium, suivi d'un séchage à l'air avant la mise en place de CVI. Ce rinçage, lors d'un traitement SMART, peut se faire suite à l'application d'acide polyalkénoïque pour retirer le précipité d'iodure de potassium. L'application de ce *dentin conditioner* ne semble pas interférer dans la force de liaison entre dentine et CVI (49).

Une étude de 2020, menée sur des dents artificiellement déminéralisées par une solution d'acide acétique, mimant des déminéralisations carieuses, conclut que les meilleurs résultats de résistance au cisaillement sont obtenus pour du CVI mis en place une semaine après conditionnement et application de FDA. Cela est dû à la réaction lente de pénétration de l'argent qui, si le CVI est appliqué directement, n'est pas encore terminée et peut donc compromettre la liaison chimique. De manière concordante aux autres études, la présence ou non de FDA, hors considérations temporelles d'application, n'affecte pas de manière significative les valeurs des résultats (78).

3.2. Expérimentation in vitro

Pour répondre à de nombreuses interrogations cliniques, nous avons imaginé une expérimentation in vitro en laboratoire, afin d'étudier la force de rétention d'un CVI sur une dentine préalablement traitée par du fluorure diamine d'argent appliqué avec de l'iodure de potassium.

L'expérimentation a eu lieu dans le Laboratoire de Biomatériaux du Département d'Odontologie de la Faculté de Santé de Toulouse.

3.2.1. Échantillons

Des échantillons de dents humaines extraites ont été constitués. Les dents ont toutes été extraites pour raisons thérapeutiques.

Les critères d'inclusion sont : (1) prémolaires ou molaires humaines ; les dents permanentes sont des dents jeunes, des dents lactéales ont également été incluses, (2) dents non cariées,

non fissurées, non restaurées, (3) conservation dans une solution de chloramine à 1% entre le temps d'extraction et l'expérimentation.

Quatre groupes ont été définis, selon la répartition ci-dessous.

Tableau 1 : Constitution des quatre groupes d'échantillons

Groupe	Dents	Traitements avant assemblage de CVI	Nombre d'échantillons (n=)
1	Définitives	FDA	9
2		FDA + IP	8
3	Lactéales	FDA	4
4		FDA + IP	4

3.2.2. Méthode

Les dents ainsi échantillonnées ont été incluses dans de la résine *Ivolen* © d'*Ivoclar*, puis leurs couronnes sectionnées transversalement dans leur tiers cervical coronaire pour obtenir des plateaux de dentine saine, à l'aide d'une scie diamantée à faible vitesse sous irrigation (*Isomet Micro Saw* © de *Buehler*).



Figure 17 : Utilisation de la *Micro Saw* © (*Buehler*)



Figure 18 : Obtention de plateaux de dentine saine prêts à être traités

Les dents ont été conservées dans un incubateur, en atmosphère humide à 37°C. Elles ont ensuite été incluses dans du plâtre, puis leur surface nettoyée.

Nous avons ensuite débuté les traitements chimiques des plateaux dentinaires, suivant le protocole préétabli par les fabricants, en accord avec les données actuelles de la science, explicité dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Protocole de traitement des échantillons

Groupes 1 et 3	Groupes 2 et 4
Nettoyage et séchage	
Application d'1 goutte de FDA pendant 60 secondes	
-	Application d'une goutte d'IP pendant 30 secondes
Rincer et sécher sans dessécher	
Application d'acide polyacrylique à 20% pendant 10 secondes	
Rincer et sécher sans dessécher	
Mise en place de CVI en couche de 2mm	

Un intervalle de trois jours sous incubateur a été respecté afin d'attendre une prise complète du ciment verre ionomère (*Riva self cure HV* © de la marque *SDI*).

Les plateaux de CVI ont ensuite été tous individuellement taillés à la fraise boule sur turbine afin de former des cylindres identiques de 2mm de hauteur et de 1,5mm de circonférence.



Figure 19 : Exemple de l'inclusion dans un cylindre de plâtre d'une molaire du groupe 2, après traitement et taille

Les échantillons ont ensuite subi les tests de résistance à l'arrachement par cisaillement (*shear bond strenght*). Ils sont effectués à l'aide de la machine *Ultratester* © d'*Ultradent*, qui enregistre les valeurs de charges maximales en mégapascals (MPa).



Figure 20 : L'ultratester © d'Ultradent

Les échantillons sont immobilisés par une double vis puis positionnés sur la table de test, en regard du bras appliquant les charges de cisaillement par contact droit. Ce bras se termine par une traverse crantée-qui épouse la forme cylindrique de l'échantillon. Les deux éléments sont placés de manière la plus rapprochée possible, afin de répartir plus uniformément des contraintes sur le cylindre de ciment verre ionomère.

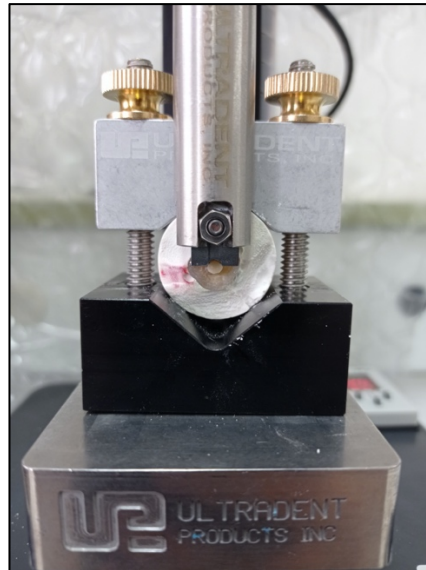


Figure 21 : Détail du bras appliquant une charge de cisaillement sur l'interface dentine-CVI

Une fois l'échantillon bien positionné, nous lançons le test. Une charge de cisaillement est appliquée à raison de 1 millimètre par minute (vitesse de mise en charge) sur l'interface dentine-CVI. Lorsqu'une défaillance se produit, c'est-à-dire lorsque le cylindre de l'échantillon se fracture, le pic de charge est mémorisé. Cette valeur exprimée en mégapascal (MPa) quantifie la force de liaison étudiée pour chaque échantillon.

Nous observons également le mode de fracture de chaque échantillon au moment de la défaillance. Il existe deux modes de rupture : adhésive, entre l'interface collée et la restauration, ou cohésive, au sein de la restauration même.

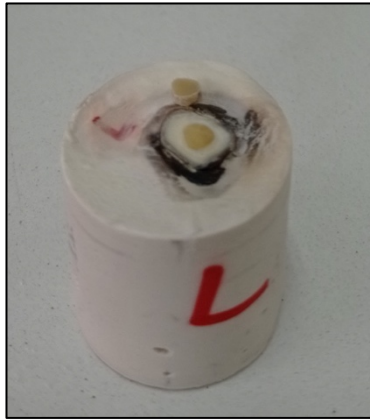


Figure 22 : Exemple de fracture adhésive nette à l'interface dentine-CVI

3.2.3. Résultats

Les résultats obtenus sont analysés statistiquement par tests de comparaison des moyennes de Mann-Whitney. Le niveau de signification a été fixé à $\alpha < 0,05$. Les données numériques ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel *Stata*®.

Tableau 3 : Description des résultats du test de résistance au cisaillement

Groupe	Composition et traitements	Nombre d'échantillons (n=)	Résistance moyenne (MPa)	Écart-type	Résistance minimale (MPa)	Résistance maximale (MPa)
1	Définitives FDA	9	11,51	1,86	8,1	13,8
2	Définitives FDA + IP	8	14,41	3,23	9,6	19,6
3	Lactéales FDA	4	8,42	4,29	3,8	12,6
4	Lactéales FDA + IP	4	9,17	4,68	2,6	13

Pour les dents définitives, la valeur moyenne de la résistance au cisaillement est de $11,51 \pm 1,86$ MPa pour le groupe 1, et de $14,41 \pm 3,23$ MPa pour le groupe 2.

Bien que le groupe ayant été traité avec du FDA et de l'iodure de potassium présente des valeurs de résistance au cisaillement plus élevées que celui ayant eu une application de FDA seul, la différence n'est pas statistiquement significative car $p = 0,07$ ($p > 0,05$).

Pour les dents lactéales, la valeur moyenne de la résistance au cisaillement est de $8,42 \pm 4,29$ MPa pour le groupe 3, et de $9,17 \pm 4,68$ MPa pour le groupe 2.

Bien que le groupe ayant été traité avec du FDA et de l'iodure de potassium présente des valeurs de résistance au cisaillement plus élevées que celui ayant eu une application de FDA seul, la différence n'est pas statistiquement significative car $p = 0,77$ ($p > 0,05$).

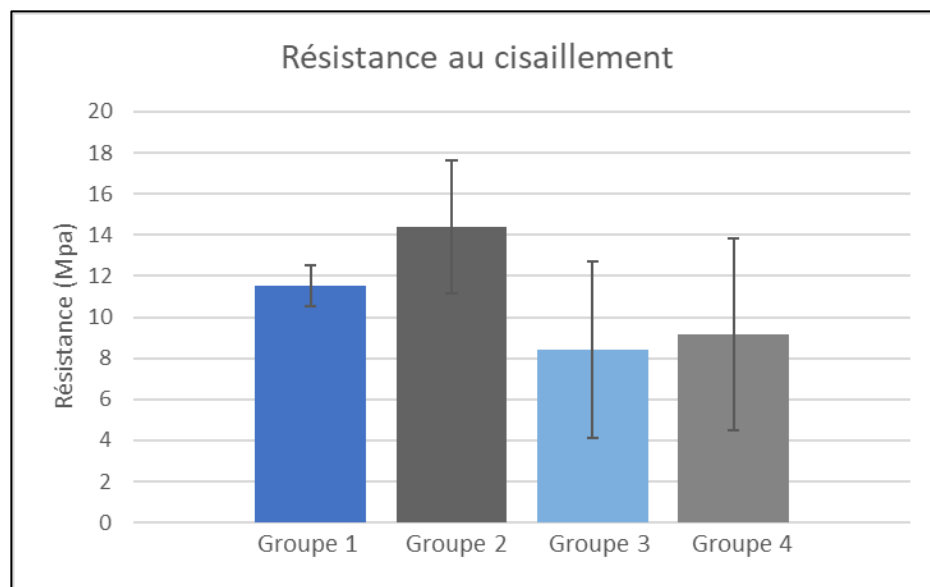


Figure 23 : Moyennes des valeurs de résistance au cisaillement en fonction du groupe test, avec les différents écart-types

Le mode de fracture a également été étudié. Toutes les fractures ont eu lieu au niveau de l'assemblage dentine-CVI, on peut les qualifier de fractures adhésives. Deux échantillons ont également présenté une fracture cohésive verticale du cylindre de CVI.

3.2.4. Discussion

Le nombre d'échantillons, notamment pour les dents lactéales (n=8) étant faible, il semble difficile de conclure de manière certaine quant aux résultats obtenus.

La technique SMART est communément réalisée sur dents temporaires ; ces dernières étant plus compliquées à récupérer (rhizalyse naturelle souvent avancée, difficultés d'inclusion, patients souhaitant les garder), la plupart des études sont menées sur dents permanentes. Une étude a cependant trouvé des différences non significatives entre CVI et dentine de dents lactéales ou définitives, malgré les différences structurelles inhérentes aux deux types de dentitions (79). Pour notre expérimentation, les dents définitives ont été choisies jeunes afin de réduire le biais inhérent au vieillissement structurel des tissus dentaires.

Pour des raisons pratiques et éthiques, l'étude n'a pas été réalisée chez l'homme ; les résultats obtenus ici *in vitro* diffèrent donc du contexte clinique habituel. Les échantillons ont cependant été conservés après extraction dans de la chloramine, puis dans un incubateur, dans lequel taux d'humidité et température (37°C) sont contrôlés.

Le mode de fracture, nette, au niveau de l'assemblage dentine-CVI, était attendu et similaire aux résultats d'autres études.

Les résultats obtenus sont concordants avec l'étude de P. François, J.-P. Attal et E. Dursun sur le *shear bond strenght* (SBS) entre CVI haute viscosité et dentine avec différents protocoles incluant du FDA (49). Six groupes ont été constitués : traitement à l'eau uniquement ; à l'acide polyalkénoïque ; au FDA ; au FDA + IP ; au FDA + IP + acide polyalkénoïque ; au FDA + KI + deux semaines de conservation dans l'eau + acide polyalkénoïque. Tous les groupes sont constitués de n= 20 échantillons et ont été soumis aux tests de résistance au cisaillement 48 heures après traitement. Entre tous les groupes testés, aucune différence significative dans les valeurs de SBS n'a été trouvée (49).

Une étude menée sur un nombre d'échantillons plus importants (n= 64 à 87 suivant les groupes) avance que l'application immédiate de FDA avant restauration affaiblit la force d'assemblage dentine-CVI. Une des pistes expliquant cette différence serait la basicité du FDA qui pourrait affecter l'efficacité de l'acide polyacrylique, ainsi que la réaction acide-base ayant lieu lors de la mise en place du CVI. Une autre hypothèse incrimine les précipités denses tels que le fluorure de calcium, qui empêchent les liens ioniques entre calcium lié à

l'hydroxyapatite et CVI, et obstruent mécaniquement la surface tubulaire. Enfin, les ions argent entreraient en compétition avec les ions calcium au sein des cristaux d'hydroxyapatite, limitant le nombre de liens entre calcium dentinaire et groupes carboxyles contenus dans les CVI. Cette diminution de la force de liaison a été étudiée pour une application de FDA sur de la dentine saine, et non pas dans le cadre de soins SMART (80).

D'autres études plus poussées devront être menées afin d'étudier la force de liaison entre dentine cariée et CVI dans le cadre de soins en technique SMART, sur dents lactéales.

Conclusion

Encore relativement peu exploité, le FDA est un allié thérapeutique de choix en odontologie pédiatrique, et propose une alternative sûre, efficace et peu coûteuse aux soins conventionnels plus invasifs dans le traitement de la maladie carieuse. Agent carioprotecteur et cariostatique, il permet de réaliser des séances de soins rapides, indolores et donc aussi atraumatiques que possible. La crise récente du Covid-19 a donné naissance à de nombreuses réflexions sur un changement de paradigme, orientant les praticiens vers des soins moins aérosolisés.

Comme nous l'avons vu, le FDA a une relation symbiotique (49) avec le ciment verre ionomère, qui peut masquer la coloration inesthétique des lésions carieuses soignées, tandis que la solution d'ions argent réduit la percolation des joints de restauration dentine - CVI (*nanoleakage*) et donc la récurrence de caries secondaires.

Ne nécessitant ni plateau technique ni équipements particuliers, la technique de soins SMART - qui associe FDA et reconstitutions coronaires en ciment-verre-ionomère - peut être mise en place facilement au sein de structures de soins géographiquement isolées ou ayant des contraintes financières strictes. C'est un moyen thérapeutique innovant, s'inscrivant dans la dentisterie *a minima* qui préserve la notion de gradient thérapeutique.

Il semble nécessaire d'inscrire ces nouvelles possibilités thérapeutiques dans une démarche de soins centrée sur le patient, bio-psycho-sociale, en lui proposant un projet de soins personnalisé, adapté à ses besoins et à ses demandes. Nous rappelons l'importance de la prévention, de l'éducation à la santé puis de l'éducation thérapeutique dès le plus jeune âge, pour les petits patients et leur entourage. La maladie carieuse est une pathologie chronique qui doit être appréhendée et comprise de façon autonome par le patient, accompagné par le praticien qui construit une relation bilatérale de confiance, afin d'en stabiliser l'évolution et d'en prévenir les complications.

Vu par les directeurs de thèse



Vu par le président du jury



Table des figures

Figure 1 : Différentes couches de dentine au sein d'une carie et réactions pulpaires associées (De Belenet, Meyer, Biomatériaux Clinique n°2, octobre 2020)	24
Figure 2 : Conditionnement du Riva Star Aqua (GC) : à gauche les capsules de FDA, à droite les capsules d'iodure de potassium (iconographie personnelle).....	26
Figure 3 : Images en MEB de tubulis dentinaires avec et sans traitement au FDA (Rossi et coll, 2017) : les canalicules apparaissent obstrués sur l'image de droite, notamment par les ions argent.....	28
Figure 4 : Images en MEB d'une surface dentinaire non traitée au FDA (Knight et coll., 2009)	29
Figure 5 : Images en MEB d'une surface dentinaire traitée au FDA (Knight et coll., 2009)	29
Figure 6 : L'équipe de la mission d'avril 2022 dans le cabinet d'Elinkine	38
Figure 7 : Ergonomie de soins SMART en avril 2022 dans une école de l'île de Karabane	39
Figure 8 : Application de FDA sur une carie vestibulaire de la 62.....	40
Figure 9 : Application d'iodure de potassium.....	40
Figure 10 : Deux minutes après application du FDA + IP : on peut observer l'apparition d'une coloration des joints de la lésion carieuse, ainsi que d'un précipité plus clair.....	41
Figure 11 : Dix minutes après application du FDA + IP, la lésion carieuse est complètement colorée.	41
Figure 12 : Mise en place d'une strip crown (Frasaco) remplie d'Equia Forte (GC)	42
Figure 13 : Vue d'ensemble de l'occlusion après restauration de la 52	42
Figure 14 : Soins SMART des caries disto-linguale de la 84, mésiale et occlusale de la 74. On peut noter les nombreuses déminéralisations des faces vestibulaires qui ont été fluorées, et nécessitent une surveillance régulière.....	43
Figure 15 : Soins SMART des caries interproximales de 84 et 85, occlusale de 85 et scellement de sillons de la dent 46.	44
Figure 16 : Soins SMART d'une carie mésio-occlusale de la 75.....	45
Figure 17 : Utilisation de la Micro Saw (Buehler).....	48
Figure 18 : Obtention de plateaux de dentine saine prêts à être traités	49
Figure 19 : Exemple de l'inclusion dans un cylindre de plâtre d'une molaire du groupe 2, après traitement et taille.....	50
Figure 20 : L'ultratester d'Ultradent	50
Figure 21 : Détail du bras appliquant une charge de cisaillement sur l'interface dentine-CVI.....	51
Figure 22 : Exemple de fracture adhésive nette à l'interface dentine-CVI	52
Figure 23 : Moyennes des valeurs de résistance au cisaillement en fonction du groupe test, avec les différents écart-types.....	53

Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Constitution des quatre groupes d'échantillons.....</i>	<i>48</i>
<i>Tableau 2 : Protocole de traitement des échantillons.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 3 : Description des résultats du test de résistance au cisaillement.....</i>	<i>52</i>

Annexes

FLUORURE DIAMINE D'ARGENT Formulaire de consentement

Faits pour votre considération

Le fluorure diamine d'argent (SDF) est un liquide que l'on utilise pour arrêter la carie dentaire. Dans certains cas où votre dentiste aurait normalement procédé à une restauration régulière pour retirer la carie, il est maintenant possible de bénéficier d'un traitement non traumatique et moins invasif pour l'arrêter. Le SDF favorise également l'arrêt de la sensibilité dentinaire.

Un traitement avec du SDF n'élimine parfois par le besoin de réparer les caries ou d'installer une couronne pour assurer le bon fonctionnement et l'esthétique de vos dents. Dans ces cas, des frais additionnels s'appliqueraient.



TEMPS: 0

1 JOUR

1 SEMAINE

Application sur des adultes et enfants de 3 ans et plus

1. Isoler la/les dents affectés et assécher la lésion ou surface.
2. Appliquer Advantage Arrest.
3. Laisser la dent trempée pendant 60 secondes.
4. Couvrir avec un vernis au fluorure, si nécessaire pour créer une barrière et garder l'argent actif le plus longtemps possible.
5. Répéter à chaque 1-3 jour(s) pour augmenter les probabilités d'arrêter la lésion avec 1 traitement.
6. Réappliquer à des intervalles de 6 mois à 1 an.
7. Polymériser seulement si la restauration est effectuée le même jour pour empêcher la coloration du matériel.
8. Rincer seulement si une restauration directe est pratiquée ensuite.

Application sur des enfants de moins de 3 ans

1 à 2 goutte(s) par 10 kg

Le SDF inclut, mais ne se limite pas, aux risques suivants :

- La zone affectée se colorera noir de façon permanente. La structure saine de la dent ne tachera pas.
- Les plombages et couronnes peuvent aussi se colorer. Ces taches peuvent cependant être éliminées avec un polissage.
- Si le SDF est appliqué accidentellement sur la peau ou les gencives, des taches brunes peuvent apparaître. Elles sont inoffensives, peuvent être lavées et disparaîtront naturellement en 1 à 3 jours.
- Vous pourriez remarquer un goût métallique qui se dissipera rapidement.
- Si la carie dentaire n'est pas arrêtée, elle progressera. Dans ce cas, la dent nécessitera un traitement supplémentaire tel que, du SDF, un plombage, une couronne, un traitement de canal ou une extraction.
- D'autres risques peuvent être présents. Contactez votre professionnel dentaire si vous en remarquez d'autres.
- Tous les efforts raisonnables sont faits pour assurer le succès du traitement au SDF. Il y a un risque que la procédure n'arrête pas la carie.

Alternatives possibles, mais non limitées aux SDF :

- Aucun traitement, ce qui peut mener à une détérioration continue de la structure et de l'esthétique de la dent. Les symptômes peuvent s'aggraver.
- Tout dépendant de l'endroit de la carie et du stade où elle est rendue, d'autres traitements tels que des vernis au fluorure, des extractions ou des traitements dentaires additionnels auprès de spécialistes peuvent être nécessaires.

JE CERTIFIE AVOIR LU ET COMPRIS COMPLÈTEMENT CE DOCUMENT. TOUTES MES QUESTIONS ONT ÉTÉ RÉPONDUES :

Signature du patient

Date

Signature d'un témoin

Date

Document adapté à partir de : SDF-CONSENT-FR https://oralscience.com/fr/produits/avantage_arrest/ (2018-08-08)

Annexe 1 : Exemple de formulaire de consentement préalable à une application de FDA en cabinet. Source : <https://oralscience.com>.

Effets de l'application de fluorure diamine d'argent et d'iodure de potassium sur l'assemblage Ciment Verre Ionomère-Dentine

Localisation :

Université Toulouse III – Paul Sabatier
Faculté de Santé, Département Odontologie
3 Chemin des Maraichers
31400 Toulouse
France

Investigateurs :

Investigateurs principaux : Drs. JONIOT Sabine (MCU-PH) et CANCEILL Thibault (MCU-PH)
Investigatrice associée : Mme GOTAS Louise (étudiante)

Résumé du contexte	Le fluorure diamine d'argent (FDA) est un agent reconnu pour son effet anti-caries ; plusieurs études ont démontré que son application ne nuisait pas à l'assemblage CVI-Dentine. L'iodure de potassium (KI), ne disposant pas encore d'AMM en France, permet de réduire la coloration noire des lésions carieuses induite par le FDA. Son effet sur l'assemblage de restaurations en CVI est encore mal connu.
Objectifs	Evaluer l'influence de l'application d'iodure de potassium avec le FDA sur la qualité de l'assemblage CVI-dentine saine.
Type d'étude	Etude <i>in vitro</i>
Plan de l'étude	Constitution d'échantillons sur dents humaines extraites Assemblage des biomatériaux aux tissus dentaires sur plateau de dentine Tests de cisaillement pour évaluer la résistance de l'interface
Critères d'inclusion et d'exclusion	Molaires humaines saines (non cariées, non fissurées, non restaurées)
Centre d'étude	Laboratoire de biomatériaux de la Faculté de Chirurgie Dentaire de Toulouse
Taille de l'étude	20 échantillons : - Groupe 1 (témoin) : FDA + CVI Equia Forte (n=10) - Groupe 2 : FDA + KI + CVI Equia Forte (n=10)
Analyse statistique des données	Comparaison des groupes par test de comparaison des moyennes de Student (ou Mann Whitney selon conditions d'applications)

Références bibliographiques

1. OMS. Santé bucco-dentaire. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/oral-health>
2. OMS. Rapport de situation sur la santé bucco-dentaire dans le monde : vers la couverture sanitaire universelle pour la santé bucco-dentaire d'ici à 2030 : résumé d'orientation. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/publications-detail/9789240061569>
3. Garg S, Sadr A, Chan D. Potassium Iodide Reversal of Silver Diamine Fluoride Staining: A Case Report. *Oper Dent*. 1 mai 2019;44(3):221-6.
4. Machiulskiene V, Campus G, Carvalho JC, Dige I, Ekstrand KR, Jablonski-Momeni A, et al. Terminology of Dental Caries and Dental Caries Management: Consensus Report of a Workshop Organized by ORCA and Cariology Research Group of IADR. *Caries Res*. 2020;54(1):7-14.
5. Fioretti F, Haïkel Y. Carie et sucres: Caries and sugars. *Médecine Mal Métaboliques*. 1 oct 2010;4(5):543-9.
6. Physique et Chimie. La chimie des dents et des caries. 2022. Disponible sur: <https://webphysique.fr/chimie-dents-carie-bouche/>
7. HAS. Stratégies de prévention de la carie dentaire. 2010. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2010-10/corriges_rapport_cariedentaire_version_postcollege-10sept2010.pdf
8. AFPA. La carie précoce de l'enfance. AFPA Association Française de Pédiatrie Ambulatoire. Disponible sur: <https://afpa.org/outil/carie-precoce-de-lenfance/>
9. Fisher-Owens SA, Gansky SA, Platt LJ, Weintraub JA, Soobader MJ, Bramlett MD, et al. Influences on children's oral health: a conceptual model. *Pediatrics*. sept 2007;120(3):e510-520.
10. Chaffee BW, Rodrigues PH, Kramer PF, Vítolo MR, Feldens CA. Oral health-related quality-of-life scores differ by socioeconomic status and caries experience. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2017;45(3):216-24.
11. Nora ÂD, da Silva Rodrigues C, de Oliveira Rocha R, Soares FZM, Minatel Braga M, Lenzi TL. Is Caries Associated with Negative Impact on Oral Health-Related Quality of Life of Pre-school Children? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pediatr Dent*. 15 nov 2018;40(7):403-11.
12. Corrêa-Faria P, Silva KC, Costa LR. Impact of dental caries on oral health-related quality of life in children with dental behavior management problems. *Braz Oral Res*. 14 mars 2022; 36. Disponible sur:

<http://www.scielo.br/j/bor/a/x374YFrYq85G8YTmfC4mHMH/?lang=en>

13. Buldur B, Oguz E. Reliability and validity of the Turkish version of the Oral Health Literacy Assessment Task: Pathways between parental oral health literacy and oral health consequences in children. *Int J Paediatr Dent*. Disponible sur: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ipd.13025>
14. Marqués-Martínez L, Pérez-Bermejo M, Lairón-Peris AR, Guinot-Barona C, Borrell-García C, García-Miralles E. Association between the Severity of Dental Caries and the Degree of Adherence to the Mediterranean Diet in the Pediatric Population. *Nutrients*. janv 2022;14(17):3622.
15. Pegon-Machat E, Jourdan D, Tubert-Jeannin S. Inégalités en santé orale : déterminants de l'accès à la prévention et aux soins en France. *Santé Publique*. 2018;30(2):243-51.
16. Dorri M, Martinez-Zapata MJ, Walsh T, Marinho VC, Sheiham (deceased) A, Zaror C. Atraumatic restorative treatment versus conventional restorative treatment for managing dental caries. *Cochrane Database Syst Rev*. 28 déc 2017;2017(12):CD008072.
17. Baier K, Milgrom P, Russell S, Mancl L, Yoshida T. Children's fear and behavior in private pediatric dentistry practices. *Pediatr Dent*. 2004;26(4):316-21.
18. Savanheimo N, Vehkalahti MM, Pihakari A, Numminen M. Reasons for and parental satisfaction with children's dental care under general anaesthesia. *Int J Paediatr Dent*. nov 2005;15(6):448-54.
19. Bücher K, Tautz A, Hickel R, Kühnisch J. Longevity of composite restorations in patients with early childhood caries (ECC). *Clin Oral Investig*. avr 2014;18(3):775-82.
20. Natarajan D. Silver Modified Atraumatic Restorative Technique: A Way towards "SMART" Pediatric Dentistry during the COVID-19 Pandemic. *Front Dent*. 12 mars 2022;19:12.
21. World Health Organization. Considerations for the provision of essential oral health services in the context of COVID-19. Disponible sur: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/who-2019-nCoV-oral-health-2020.1>
22. Tirlet G, Attal JP. Le gradient thérapeutique un concept médical pour les traitements esthétiques. *Info Dent*. 1 janv 2009;41:2561-8.
23. Mathur VP, Dhillon JK. Dental Caries: A Disease Which Needs Attention. *Indian J Pediatr*. 1 mars 2018;85(3):202-6.
24. Ruga A. L'abord du patient au cabinet dentaire. Approche psychologique et outils de communication. Université de Lorraine; 2013. Disponible sur: <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01738909>

25. Batra M, Rajwar Y, Agarwal N, Singh A, Dutt M, Sinha A. Basic package for oral care : a step towards primary oral health care. *TMU J Dent.* 1 mai 2014;1:57-60.
26. Ericson D, Kidd E, McComb D, Mjör I, Noack MJ. Minimally Invasive Dentistry-- concepts and techniques in cariology. *Oral Health Prev Dent.* 2003;1(1):59-72.
27. Banerjee A, Watson TF, Kidd E a. M. Dentine caries excavation: a review of current clinical techniques. *Br Dent J.* mai 2000;188(9):476-82.
28. Celiberti P, Francescut P, Lussi A. Performance of four dentine excavation methods in deciduous teeth. *Caries Res.* 2006;40(2):117-23.
29. Molina GF, Cabral RJ, Frencken JE. The ART approach: clinical aspects reviewed. *J Appl Oral Sci.* 2009;17(spe):89-98.
30. Navarro MFL, Rigolon CJ, Barata TJE, Bresciane E, Fagundes TC, Peters MC. Influence of occlusal access on demineralized dentin removal in the atraumatic restorative treatment (ART) approach. *Am J Dent.* août 2008;21(4):251-4.
31. Maltz M, Oliveira EF, Fontanella V, Carminatti G. Deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: 40-month follow-up study. *Caries Res.* 2007;41(6):493-6.
32. Maltz M, de Oliveira EF, Fontanella V, Bianchi R. A clinical, microbiologic, and radiographic study of deep caries lesions after incomplete caries removal. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. févr 2002;33(2):151-9.
33. Thompson V, Craig RG, Curro FA, Green WS, Ship JA. Treatment of deep carious lesions by complete excavation or partial removal: a critical review. *J Am Dent Assoc* 1939. juin 2008;139(6):705-12.
34. Belenet HD, Meyer J. Gestion contemporaine des lésions carieuses profondes : le curetage sélectif. *L'Information Dentaire.* 2020. Disponible sur: <https://www.information-dentaire.fr/formations/gestion-contemporaine-des-lsions-carieuses-profondes-le-curetage-slectif/>
35. Oong EM, Griffin SO, Kohn WG, Gooch BF, Caufield PW. The Effect of Dental Sealants on Bacteria Levels in Caries Lesions: A Review of the Evidence. *J Am Dent Assoc.* 1 mars 2008;139(3):271-8.
36. Chu CH, Lo ECM, Lin HC. Effectiveness of silver diamine fluoride and sodium fluoride varnish in arresting dentin caries in Chinese pre-school children. *J Dent Res.* nov 2002;81(11):767-70.
37. Fauth. Is silver diamine fluoride effective in preventing and arresting caries in elderly adults? A systematic review; Disponible sur: <https://www.jispcd.org/printarticle.asp?issn=2231->

0762;year=2018;volume=8;issue=3;spage=191;epage=199;aulast=Subbiah

38. Stebbins EA. What value has argenti nitras as a therapeutic agent in dentistry? *Int Dent J.* 1891;
39. Nishino M, Yoshida S, Sobue S, Kato J, Nishida M. Effect of topically applied ammoniacal silver fluoride on dental caries in children. *J Osaka Univ Dent Sch.* sept 1969;9:149-55.
40. Gotjamanos T. Pulp response in primary teeth with deep residual caries treated with silver fluoride and glass ionomer cement ('atraumatic' technique). *Aust Dent J.* 1996;41(5):328-34.
41. Horst JA. Silver Fluoride as a Treatment for Dental Caries. *Adv Dent Res.* févr 2018;29(1):135-40.
42. Advantage Arrest. Disponible sur : <https://www.elevateoralcare.com/products/AdvantageArrest/Advantage-Arrest-Silver-Diamine-Fluoride-38>
43. Enfin 3 produits dentaires dans la liste de l'OMS. Disponible sur: <https://www.editionsmdp.fr/actualites/actualites/l-actualite-socio-professionnelle-du-chirurgien-dentiste/enfin-3-produits-dentaires-dans-la-liste-de-l-oms.html>
44. Nelson T, Scott JM, Crystal YO, Berg JH, Milgrom P. Silver Diamine Fluoride in Pediatric Dentistry Training Programs: Survey of Graduate Program Directors. *Pediatr Dent.* 2016;38(3):212-7.
45. SDI. Riva star aqua. SDI. Disponible sur: <https://www.sdi.com.au/au/fr/product/riva-star-aqua/>
46. Mei ML, Chu CH, Lo ECM, Samaranayake LP. Fluoride and silver concentrations of silver diammine fluoride solutions for dental use. *Int J Paediatr Dent.* juill 2013;23(4):279-85.
47. Vittu Caroline. Intégration du Fluorure Diamine d'Argent dans la prise en charge des lésions carieuses chez l'enfant. Université de Lille; 2019.
48. Shimooka S. [On the penetration of silver nitrate and ammoniacal silver fluoride into microstructure of the sound dentin]. *Shigaku Odontol J Nihon Dent Coll.* févr 1972;59(6):534-66.
49. François P, Greenwall-Cohen J, Le Goff S, Ruscassier N, Attal JP, Dursun E. Shear bond strength and interfacial analysis of high-viscosity glass ionomer cement bonded to dentin with protocols including silver diammine fluoride. *J Oral Sci.* 26 sept 2020;62(4):444-8.
50. 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 AOL*. avr 2017;30(1):5-12.

51. Hysenaj B. L'incidence du fluorure diamine d'argent sur la reminéralisation amélaire et dentinaire: étude in vitro.

52. Chu CH, Mei L, Seneviratne CJ, Lo ECM. Effects of silver diamine fluoride on dentine carious lesions induced by *Streptococcus mutans* and *Actinomyces naeslundii* biofilms. *Int J Paediatr Dent*. janv 2012;22(1):2-10.

53. Knight GM, McIntyre JM, Craig GG, Mulyani null, Zilm PS, Gully NJ. Inability to form a biofilm of *Streptococcus mutans* on silver fluoride- and potassium iodide-treated demineralized dentin. *Quintessence Int Berl Ger* 1985. févr 2009;40(2):155-61.

54. Wakshlak RBK, Pedahzur R, Avnir D. Antibacterial activity of silver-killed bacteria: the « zombies » effect. *Sci Rep*. 23 avr 2015;5:9555.

55. Mei ML, Ito L, Cao Y, Li QL, Lo ECM, Chu CH. Inhibitory effect of silver diamine fluoride on dentine demineralisation and collagen degradation. *J Dent*. sept 2013;41(9):809-17.

56. Fung MHT, Duangthip D, Wong MCM, Lo ECM, Chu CH. Randomized Clinical Trial of 12% and 38% Silver Diamine Fluoride Treatment. *J Dent Res*. févr 2018;97(2):171-8.

57. Llodra JC, Rodriguez A, Ferrer B, Menardia V, Ramos T, Morato M. Efficacy of silver diamine fluoride for caries reduction in primary teeth and first permanent molars of schoolchildren: 36-month clinical trial. *J Dent Res*. août 2005;84(8):721-4.

58. Crystal YO, Niederman R. Silver Diamine Fluoride Treatment Considerations in Children's Caries Management Brief Communication and Commentary. *Pediatr Dent*. 15 nov 2016;38(7):466-71.

59. Clemens J, Gold J, Chaffin J. Effect and acceptance of silver diamine fluoride treatment on dental caries in primary teeth. *J Public Health Dent*. 2018;78(1):63-8.

60. Duangthip D, Wong MCM, Chu CH, Lo ECM. Caries arrest by topical fluorides in preschool children: 30-month results. *J Dent*. mars 2018;70:74-9.

61. Vasquez E, Zegarra G, Chirinos E, Castillo JL, Taves DR, Watson GE, et al. Short term serum pharmacokinetics of diammine silver fluoride after oral application. *BMC Oral Health*. 31 déc 2012;12:60.

62. Ballikaya E, Ünverdi GE, Cehreli ZC. Management of initial carious lesions of hypomineralized molars (MIH) with silver diamine fluoride or silver-modified atraumatic restorative treatment (SMART): 1-year results of a prospective, randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*. 1 févr 2022;26(2):2197-205.

63. Alsagob E, Sawan N, Aladhyan S, Alsalem N, Alshami A, Albluwi S. Silver diamine fluoride with delayed restoration reduces tooth discoloration. *Saudi J Biol Sci.* 1 mars 2022;29(3):1434-8.
64. Horst JA, Ellenikiotis H, Milgrom PM. UCSF Protocol for Caries Arrest Using Silver Diamine Fluoride: Rationale, Indications, and Consent. *J Calif Dent Assoc.* janv 2016;44(1):16-28.
65. AAPD. Policy on the Use of Silver Diamine Fluoride for Pediatric Dental Patients. *Pediatr Dent.* 15 sept 2017;39(6):51-3.
66. VOCO Profluorid Varnish - Désensibilisants | VOCO GmbH.Disponible sur: <https://www.voco.dental/fr/produits/soin-oral/desensibilisants/voco-profluorid-varnish.aspx>
67. Duangthip D, Fung MHT, Wong MCM, Chu CH, Lo ECM. Adverse Effects of Silver Diamine Fluoride Treatment among Preschool Children. *J Dent Res.* avr 2018;97(4):395-401.
68. Wassef N. Utilisation du fluorure diamine d'argent en santé dentaire publique.
69. Tesoriero J, Lee A. Parental acceptance of silver diamine fluoride. Poster session presented at: American Association of Pediatric Dentistry 69th Annual Session; San Antonio, TX. 2016.
70. Crystal YO, Janal MN, Hamilton DS, Niederman R. Parental perceptions and acceptance of silver diamine fluoride staining. *J Am Dent Assoc* 1939. juill 2017;148(7):510-518.e4.
71. Jiang M, Xie QY, Wong MCM, Chu CH, Lo ECM. Association between dental conditions, silver diamine fluoride application, parental satisfaction, and oral health-related quality of life of preschool children. *Clin Oral Investig.* 1 févr 2021;25(2):653-62.
72. Barreto KA, Prazeres LDKT dos, Lima DSM, Redivivo RMMP, Colares V. Children's Anxiety during Dental Treatment with Minimally Invasive Approaches: Findings of an Analytical Cross-sectional Study. *Pesqui Bras Em Odontopediatria E Clínica Integrada.* 2017;17(1):1-9.
73. 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.
74. Van Duker M, Hayashi J, Chan DC, Tagami J, Sadr A. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide on bonding to demineralized dentin. *Am J Dent.* juin 2019;32(3):143-6.
75. Effect of Silver Diamine Fluoride Pretreatment on Shear Bond Strength of Resin

Modified Glass Ionomer Cement to Primary Dentin | Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences (OAMJMS). 1 janv 2023; Disponible sur: <https://oamjms.eu/index.php/mjms/article/view/7093>

76. Uchil SR, Suprabha BS, Suman E, Shenoy R, Natarajan S, Rao A. Effect of three silver diamine fluoride application protocols on the microtensile bond strength of resin-modified glass ionomer cement to carious dentin in primary teeth. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2020;38(2):138-44.

77. Zhao IS, Chu S, Yu OY, Mei ML, Chu CH, Lo ECM. Effect of silver diamine fluoride and potassium iodide on shear bond strength of glass ionomer cements to caries-affected dentine. *Int Dent J.* oct 2019;69(5):341-7.

78. Ng E, Saini S, Schulze KA, Horst J, Le T, Habelitz S. Shear Bond Strength of Glass Ionomer Cement to Silver Diamine Fluoride-Treated Artificial Dentinal Caries. *Pediatr Dent.* 15 mai 2020;42(3):221-5.

79. Burrow MF, Nopnakeepong U, Phrukkanon S. A comparison of microtensile bond strengths of several dentin bonding systems to primary and permanent dentin. *Dent Mater Off Publ Acad Dent Mater.* mai 2002;18(3):239-45.

80. Khor MMY, Rosa V, Sim CJ, Hong CHL, Hu S. SMART: Silver diamine fluoride reduces microtensile bond strength of glass ionomer cement to sound and artificial caries-affected dentin. *Dent Mater J.* 2 oct 2022;41(5):698-704.

UN TRAITEMENT NON CONVENTIONNEL DE LA MALADIE CARIEUSE EN ODONTOLOGIE PÉDIATRIQUE : LA TECHNIQUE SMART

RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

La technique SMART est une nouvelle thérapeutique a minima en odontologie pédiatrique, associant le Traitement Restauratif Atraumatique et l'utilisation du Fluorure Diamine d'Argent. Agent thérapeutique reconnu pour ses propriétés cariostatiques, ce dernier entraîne une coloration inesthétique des lésions carieuses soignées. L'application d'iodure de potassium permet de réduire cet effet secondaire. L'interférence dans l'assemblage CVI-dentine de ces deux biomatériaux est encore peu connue. Une étude in vitro a été menée afin de mieux comprendre leurs propriétés et leur mécanisme d'action sur les tissus dentaires.

RÉSUMÉ EN ANGLAIS

The SMART technique is a new, minimally invasive treatment in pediatric dentistry. It brings together Atraumatic Restorative Treatment with the use of Silver Diamine Fluoride. Whilst recognised as a therapeutic agent, the latter's use can lead to inaeesthetic colouration of treated carious lesions. The application of iodide potassium reduces this side effect. However, interference in the GIC-dentin assembly of these two biomaterials is still little known. An in vitro study was conducted to understand better their properties and how it works on dental tissue.

TITRE EN ANGLAIS : The SMART technique : an unconventional treatment of the carious disease in pediatric dentistry.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Chirurgie dentaire

MOTS-CLÉS : Silver Modified Atraumatic Restorative Treatment, Fluorure Diamine d'Argent, Iodure de Potassium, Ciment Verre Ionomère, maladie carieuse, odontologie pédiatrique.

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR OU DU LABORATOIRE :

Université Toulouse III - Paul Sabatier
Faculté de Santé - Département d'Odontologie
3 chemin des Maraîchers, 31062 Toulouse Cedex 09

Directeurs de thèse : Dr. Sabine JONIOT et Dr. Thibault CANCEILL