

L'oxyphosphate de cuivre dans un protocole dentaire à minima

THESE

Présentée et publiquement soutenue devant la

Faculté d'Odontologie de Marseille

(Doyen : Monsieur le Professeur Jacques DEJOU)

Aix Marseille Université

(Président : Monsieur le Professeur Yvonne BERLAND)

Le 3 décembre 2015

par

BANDON Emilie

née le 06/07/1989

à Marseille

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

EXAMINATEURS DE LA THESE :

Président	: Monsieur le Professeur	H. TASSERY
Assesseurs	: <u>Monsieur le Docteur</u>	<u>C. PIGNOLY</u>
	Monsieur le Docteur	S. KOUBY
	Monsieur le Docteur	C. PILIPILI

1. La dentisterie à minima
 - 1.1. Qu'est-ce que la dentisterie à minima ?
 - 1.2. Principe de la dentisterie à minima
 - 1.3. Indications : Risque carieux individuel
 - 1.3.1. Définition du risque carieux individuel (RCI)
 - 1.3.2. Facteurs d'évaluation
 - 1.3.3. Evaluation du RCI
 - 1.3.3.1. CAMBRA
 - 1.3.3.2. Cariogram
 - 1.3.4. Réalisation et classification
 - 1.4. Limites
 - 1.5. La mise en œuvre
 - 1.5.1. Diagnostic
 - 1.5.2. Choix de la cavité à restaurer : Classification
 - 1.5.3. Elimination de la dentine cariée
 - 1.5.4. Matériel à utiliser pour l'élimination carieuse
 - 1.5.4.1. Instruments spécifiques à la lésion carieuse
 - 1.5.4.1.1. Curetage manuel : Excavation
 - 1.5.4.1.2. Traitement chimique : Carisolv®
 - 1.5.4.1.3. Traitement chimique : Papacarie®
 - 1.5.4.1.4. Ozonothérapie
 - 1.5.4.2. Instruments spécifiques à la préparation de la cavité
 - 1.5.4.2.1. Les nouvelles fraises
 - 1.5.4.2.1.1. Micro fraise
 - 1.5.4.2.1.2. Fraises en polymères : Fraises Smartprep de SSWhite®
 - 1.5.4.2.2. Le Laser
 - 1.5.4.2.3. La sono et ultrasono-abrasion
 - 1.5.4.2.3.1. Sono-abrasion
 - 1.5.4.2.3.2. Ultrasono-abrasion
 - 1.5.4.2.4. L'air abrasion
 - 1.5.4.2.4.1. Le type, la forme, le débit de particules
 - 1.5.4.2.4.2. La taille
 - 1.5.4.2.4.3. La distance de projection
 - 1.5.4.2.4.4. La pression délivrée
 - 1.5.4.2.5. Tableau comparatif des différentes techniques de préparations

2. L'apport des oxyphosphates additionnés de Cuivre dans un protocole dentaire à minima
 - 2.1. Qu'est-ce que les oxyphosphates additionnés de Cuivre ou Phosphates de zinc additionnés de cuivre ?
 - 2.2. Histoire du Cuivre en Médecine
 - 2.3. Activité de base du Cuivre
 - 2.4. Composition
 - 2.4.1. Mécanisme de prise
 - 2.4.2. Facteurs influençants
 - 2.4.2.1. Facteurs physiques
 - 2.4.2.2. Facteurs chimiques
 - 2.4.2.3. Facteurs extérieurs
 - 2.5. Indications
 - 2.6. Avantages/Inconvénients
 - 2.7. Limites
 - 2.8. Mise en œuvre
 - 2.8.1. Préparation Copperioncement® & Copal Varnish®
 - 2.8.2. Protocole opératoire
3. Cas clinique
 - 3.1. Cas clinique 1 : Illustration d'une dépose d'amalgame, avec mise en place du Copperioncement® et restauration définitive au composite du Dr Nicola Minotti.
 - 3.2. Cas Clinique 2 : Illustration de l'utilisation du Copperioncement® chez un enfant de 5 ans polycariée du Dr Nicola Minotti.
4. Conclusion
5. Bibliographie

Définition des mots

ART : Atraumatic Restauration Treatment

MID : Minimal Invasive Dentistry

RCI : Risque Carieux Individuel

CAT : Caries-risk Assessment Tool

CAMBRA : Caries Management by Risk Assessment

Introduction

Selon l’OMS, les maladies bucco-dentaires les plus courantes sont les caries, les parodontopathies (affections touchant les gencives et les tissus de soutien des organes dentaires), le cancer buccal, les maladies infectieuses bucco-dentaires, les traumatismes liés à des blessures et les lésions congénitales. [95]

Ici nous allons seulement nous intéresser à la carie dentaire qui rentre dans le cadre d’un traitement minimalement invasif.

Par définition, la carie dentaire est une destruction localisée de la surface dentaire, initiée par la décalcification de l’émail, suivie par la lyse enzymatique des structures organiques et menant à la formation d’une cavité. Si non-traitée, la carie peut pénétrer l’émail, la dentine et atteindre la pulpe. [23]

En résumé, la carie est due à un déséquilibre entre les tissus durs des dents et l’environnement buccal microbien et salivaire.

La carie dentaire est considérée comme une maladie chronique, multifactorielle, et elle est très fréquente, malgré la nette amélioration de ces dernières décennies, dans l’ensemble des pays industrialisés. Cependant, le processus carieux concerne tous les individus ayant des dents. La fréquence de la carie varie entre les populations, entre les individus et chez un même individu, au cours du temps. Ses déterminants (notamment comportementaux : brossage des dents, utilisation du fluor, habitudes alimentaires, etc.), les conditions d’accès et de recours aux soins posent, de façon évidente, des questions d’égalité, notamment sociales, face à la santé. De ce fait, le praticien doit évaluer la prise de conscience du patient face à la présence de carie, et leur motivation pour l’adoption à long terme des solutions. [115]

Dans le traitement de la carie dentaire, les règles ont été inventées, dans la fin des années 1800 par le Dr GV Black, le père de la dentisterie moderne. Au premier rang de ces règles, figurait le concept de «l’extension de la prévention». La mise au point du modèle médical préventif a permis de ne pas intervenir chirurgicalement, en première intention, sur les lésions débutantes, grâce à des techniques de réversion ou de reminéralisation. Lorsqu’il est nécessaire de procéder à l’élimination des tissus infectés, l’approche médicale consiste à préserver au maximum la substance dentaire : principe de la dentisterie à minima. [61]

1. La dentisterie à minima

1.1. Qu'est-ce que la dentisterie à minima ?

Plusieurs concepts de dentisterie ultraconservatrice ont été développés, allant de « la dentisterie à intervention minimale », à la « dentisterie préservatrice », en passant par les « traitements restaurateurs atraumatiques ». [109]

Le premier symposium de l'Association Internationale de Recherches Dentaires, concernant les techniques d'intervention à minima sur la carie, a eu lieu en 1995. Il a été presque entièrement consacré à l'évolution de l'une des approches de la Minimal Intervention Dentistry, à savoir Atraumatic Restoration Treatment. [42]

Pour éviter toute confusion, une définition récente a été instaurée par Frencken et van Amerongen : «Atraumatic Restoration Treatment est une approche minimalement invasive, qui permet à la fois de prévenir la carie dentaire, mais aussi d'arrêter sa progression. Cette approche se compose de deux éléments: le scellement par un matériau étanche des puits et des fissures, et la restauration des lésions dentinaires avec un matériau de restauration. La mise en place d'un matériau étanche de haute viscosité, type verre ionomère, est déposé dans les puits et fissures sous pression digitale. Une restauration d'ART implique, au niveau de la lésion, la suppression des tissus mous complètement déminéralisés, cariés à l'aide d'instruments à main, et la restauration de la dent à l'aide d'un matériau adhésif qui scelle simultanément les puits et fissures restant encore à risque ».

Cette définition implique que, si un autre procédé est utilisé pour préparer et sceller la cavité, par exemple l'utilisation d'instruments rotatifs ou l'utilisation de matériau de restauration non-adhésif, cette technique ne peut être considérée comme ART. [55]

Nous verrons ainsi plus tard, que les oxyphosphates additionnés de cuivre, ne sont pas des matériaux adhésifs, et ne font donc pas partie de la technique ART, mais peuvent être utilisés dans un cadre de la microdentisterie.

Au début des années 90, la recherche a montré que le traitement des lésions carieuses dentaires devrait s'écarter d'une approche chirurgicale traditionnelle, et passer à une approche «biologique» ou «médicale».

En effet, c'est Mount qui est le premier à évoquer la nécessité d'un « Traitement Minimal» de la carie dentaire. Davis et Makinson ont poursuivi cette nouvelle approche, et ont été les premiers à l'appeler «Minimal Intervention Dentistry», dans la littérature.[42] Ils ont fait valoir que le traitement, à proprement dit, de restauration ne guérit pas la carie, mettant ainsi l'accent sur la prévention, la reminéralisation avec une technique opératoire d'intervention minimale non invasive.[21] De plus, d'après la littérature, la dentisterie à minima présente un impact positif sur l'intervention des lésions carieuses, et reflète une diminution significative du nombre de pulpotomies, pulpectomies et coiffages directs.[41]

L'approche minimalement invasive intègre les notions de détection, de diagnostic, d'interception et de traitement des lésions carieuses.

Le «Triangle d'or» de la dentisterie à minima est l'interaction de trois facteurs essentiels :

- L'histologie du substrat dentaire à traiter,
- La composition chimique / l'utilisation des matériaux employés pour restaurer la dent,
- Les techniques opératoires pour excaver la carie. [7]

Ainsi, la dentisterie restauratrice à minima correspond au principe du respect strict de préservation des tissus sains, et de la conservation de l'intégrité de la dent saine. [109]

1.2. Principe de la dentisterie à minima [15]

Les quatre principes de base de la dentisterie à minima ont été mis en place par la Fédération Dentaire Internationale :

- **Détection** - L'identification précoce et l'évaluation du risque carieux potentiel, grâce à l'analyse des facteurs de style de vie, des tests salivaires et de révélateur de plaque.
- **Prévention** - Pour éliminer ou minimiser les facteurs de risque carieux en modifiant le régime alimentaire, les habitudes de vie et en augmentant le pH de l'environnement oral.
- **Reminéralisation** - Pour arrêter et renverser les lésions débutantes, en utilisant des agents topiques appropriés, y compris les fluorures et la caséine phosphopeptides-phosphate de calcium amorphe (CPP-ACP).
- **Réparation** plutôt que remplacement - Lorsque la cavité est présente, l'intervention chirurgicale à minima est nécessaire. L'élimination de la carie est nécessaire pour maximiser le potentiel de réparation de la dent, et ainsi conserver la structure de la dent. [115 ; 42 ; 21].

En conclusion, le but de la dentisterie à minima est de garder des dents saines et fonctionnelles pour la vie.

1.3. Indications : Risque carieux individuel

1.3.1. Définition du risque carieux individuel (RCI)

Le risque carieux est défini par Bratthall et al. en 2001 comme la probabilité qu'a un individu de développer des lésions carieuses, atteignant une étape donnée de la maladie, pendant une certaine période de temps, avec une exposition aux facteurs de risque constante, pendant cette période (Bratthall et al. 2001).

Ces dernières années, l'indice carieux a diminué dans les pays occidentaux, grâce à la prise de conscience par les parents, de l'importance de la santé buccale de leurs enfants, ainsi que l'information des professionnels de santé à différents niveaux.

1.3.2. Facteurs d'évaluation

L'évaluation du risque carieux constitue un protocole de prise en charge des caries dentaires basé sur des preuves, grâce auquel les cliniciens peuvent identifier la cause sous-jacente de la maladie (**indicateurs de risque** : signes de la maladie, **facteurs de risque** : facteurs de prédisposition biologique comprenant des variables cliniques et comportementales, et **facteurs de protection** : un certain nombre de composants cliniques, comportementaux et thérapeutiques). [103,118]

Six **facteurs de risque** étiologiques fondamentaux sont évalués, pour définir le risque carieux (Pettersson, 2005) :

- L'expérience carieuse du patient,
- L'état général du patient,
- Le facteur salivaire (débit, pouvoir tampon, agents antibactériens salivaires),
- Le facteur alimentaire (contenu et fréquence),
- Le facteur fluor,
- L'hygiène bucco-dentaire (quantité de plaque, bactéries en présence).

Les **indicateurs de risque** correspondent à la réponse de l'hôte face à l'activité biologique. Ils n'indiquent rien sur les causes. Ces indicateurs comprennent également les indicateurs socio-démographiques et l'antécédent carieux. [12, 37]

Les **facteurs protecteurs** correspondent à tous les facteurs pouvant compenser les facteurs de risque vu jusqu'ici (balance des facteurs). Le principal facteur protecteur est le fluor. [57,37]

1.3.3. Evaluation du RCI

L'évaluation du risque carieux rentre dans une démarche de diagnostic précoce de la carie pour limiter les traitements invasifs et chirurgicaux et permettre un traitement préventif. Autrement dit, la gestion de la carie dentaire nécessite une détection précoce ainsi qu'une évaluation des risques carieux pour parvenir à une prévention opportune et un traitement adéquat chez les patients qui en ont le plus besoin (Zero et al, 2009). [112]

Plusieurs outils sont disponibles pour l'évaluation du risque carieux, dont deux sont des formulaires à remplir, le « Caries-Risk Assessment Tool » (Outil d'évaluation du risque de caries) de l'American Academy of Pediatric Dentistry [1] et « Caries Management by Risk Assessment » [34] (Prise en charge des caries par l'évaluation du risque), qui sont disponibles pour différents groupes d'âge et suggèrent une culture bactérienne pour les sous-groupes particuliers.

« Cariogram » est un programme informatique générant un graphique circulaire illustrant la contribution des facteurs de risque d'un patient dans de vastes catégories et sa future sensibilité à la maladie selon un algorithme prédéterminé. [12]

1.3.3.1. CAMBRA [34, 103, 118, 37]

Le concept CAMBRA montre l'aspect multifactoriel du processus carieux. Ce dernier se concentre plus sur le traitement et la prévention de la maladie carieuse du patient plutôt que sur l'approche chirurgicale et réparatrice de la dent cariée. Ce qui rentre tout à fait dans le concept de la microdentisterie. (Annexe 1)

CAMBRA : Comportements pour la pratique clinique

Étape 1: Consultation avec le patient afin d'examiner l'état de santé, les soins dentaires, et l'histoire sociale afin de recueillir des informations pouvant être liées à la carie dentaire.

Étape 2: Examen des tissus durs et analyse et identification de l'emplacement, de la sévérité et de l'activité des lésions carieuses.

Étape 3: Evaluation du risque carieux en utilisant des données recueillies auprès de l'historique et examen des patients.

Étape 4: plan de traitement et de prévention fondée sur des preuves en fonction du niveau de risque du patient.

1.3.3.2. Cariogram® [12, 118, 105]

Le Cariogram® a été développé en Suède, en 2003, par la faculté dentaire de l'Université de Malmö. C'est une version informatisée du CAT, important dans l'évaluation du risque carieux, qui permet de mieux illustrer l'origine multifactorielle de la maladie. Le Cariogram® démontre la « chance d'éviter le développement de nouvelles lésions carieuses » dans un proche avenir et dans quelle mesure les différents facteurs affecteront cette chance. [12]

- Le secteur bleu foncé «Régime» est l'illustration du régime alimentaire.
- Le secteur rouge « Bactéries » est obtenu à partir des facteurs « quantité de plaque » et « streptocoques mutans ».
- Le secteur bleu clair «Susceptibilité» est basé sur une combinaison des facteurs impliquant le fluor, la composition de la salive et la capacité tampon de la salive.
- Le secteur jaune «Circonstances» est obtenu à partir de l'expérience de la carie.
- Le secteur vert indique une estimation de la «chance réelle d'éviter de nouvelles caries ».

Ce secteur vert est «ce qui reste» quand les autres facteurs ont pris leur part. Plus le secteur vert est important, plus la santé bucco-dentaire est préservée. Un faible secteur vert signifie un risque carieux élevé.

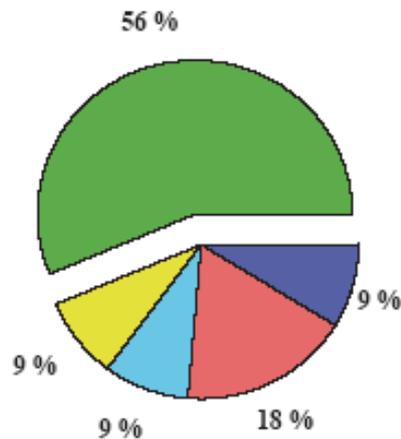
A l'inverse, la santé bucco-dentaire sera d'autant plus préservée que les autres secteurs seront faibles (Cariogram Internet Version, 2004). (Figure 1)

Cariogram

Name:
Ident.No.:
Date:
Examiner:

Country/area: Standard set
Group: Standard set

Actual chance to avoid new cavities	56 %
Diet	9 %
Bacteria	18 %
Susceptibility	9 %
Circumstances	9 %



Caries experience	3
Related diseases	0
Diet, contents	1
Diet, frequency	1
Plaque amount	2
Mutans streptococci	2
Fluoride program	2
Saliva secretion	0
Buffer capacity	0
Clin. judgement	1

Fig. 1. Example of the Cariogram® caries risk diagram for one individual in the sample .

Figure 1 Exemple de diagramme du risque carieux individuel: Cariogram®. [124]

Selon les résultats issus de la littérature, l'évaluation du risque carieux peut être efficace pour identifier les individus exposés à un risque carieux élevé et ayant donc besoin de services préventifs et d'un contrôle des facteurs de risque.

1.3.4. Réalisation et classification

Il est recommandé d'évaluer le RCI à l'occasion d'une première consultation. Ensuite, le RCI sera périodiquement évalué car il peut varier au cours du temps. (Annexe 2)

Et pour cela il faut réaliser un entretien pour (HAS, 2005):

- Identifier les facteurs de risque locaux et généraux en s'appuyant sur des moyens radiologiques.
- Identifier les patients à risque carieux élevé qui se démarquent par :
 - l'absence de brossage quotidien avec du dentifrice fluoré,
 - l'ingestion sucrée régulière en dehors des repas ou du goûter :
 - aliments sucrés

- boissons sucrées
 - bonbons
 - la prise au long cours de médicaments sucrés ou générant une hyposialie,
 - les sillons anfractueux au niveau des molaires,
 - l'indice de plaque auquel on peut préférer, par accord professionnel, la présence de plaque visible à l'œil nu sans révélation,
 - la présence de caries (atteinte de la dentine) et/ou de lésions initiales réversibles (atteinte de l'émail). (Tableau 1, Annexe 2)
- Réaliser le bilan carieux complet, après avoir effectué un nettoyage des surfaces dentaires, de préférence, par observation avec des aides optiques et un sondage prudent.
 - Indiquer le risque carieux dans le dossier médical en utilisant une fiche d'évaluation du risque carieux ou un programme informatique adéquat. [81]

La présence d'un seul facteur de risque individuel suffit à classer un individu en RCI élevé (HAS, 2005).

Le patient est ainsi placé dans une catégorie de risque défini en fonction des résultats de l'interrogatoire, de l'examen clinique et du bilan radiologique, et à laquelle sont associées une ou plusieurs thérapeutiques plus ou moins invasives [4].

Un plan de traitement individualisé est présenté au patient, qui comprend non seulement l'expertise du praticien mais aussi les désirs et les besoins uniques du patient. [59,31]

Risque	Faible	Modéré	Elevé	Extrême
--------	--------	--------	-------	---------

carieux				
Description	<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'historique carieux, -Extraction ou restauration, -Bonne hygiène et mode de vie, -Usage du fluor, -Visite régulière chez le dentiste, -Sealant, -Peu de flore cariogène, -Débit salivaire normal et de bonne composition. 	<ul style="list-style-type: none"> -Une lésion carieuse dans les années passées, -Profond puits et fissures, -Utilisation inadéquat du fluor, -White spots et colorations interproximales, -Visite irrégulière chez le dentiste, -Traitement orthodontique. 	<ul style="list-style-type: none"> -≥ 2 lésions carieuses dans les 3 dernières années, -Puits et fissures profonds, -Pas ou peu d'exposition au fluor, -Faible hygiène dentaire, -Présence de S. mutans, -Apport de sucres fréquents, -Flux salivaire inadéquat, -Visite irrégulière chez le dentiste, -Biberon ou allaitement inapproprié (nourrisson). 	<ul style="list-style-type: none"> -Regroupe les critères du risque élevé + hyposialie.

Tableau 1: Critères d'évaluation du risque carieux. [61,31]

Pour les risques carieux élevés, on applique les techniques préventives de la dentisterie restauratrice à minima (améloplastie partielle, stérilisation des sillons, etc.) et on réalise des préparations à minima qu'en deuxième intention, une fois le risque carieux contrôlé et minoré.

Pour les niveaux de risques carieux « nuls » et « faibles » toutes les thérapeutiques à minima sont applicables en première intention une fois le diagnostic précis posé. [109]

A la suite de la qualification du risque carieux chez le patient, des contrôles réguliers tous les trois mois sont recommandés aux patients à risque élevé ; pour les patients à risque faible, tous les 12 mois (CNEOC, 2010).

1.4.Limites [79]

La dentisterie d'intervention à minima engendre des problèmes spécifiques à plusieurs niveaux:

- Une nécessité d'une plus grande acuité dans le diagnostic de la lésion carieuse ;
- Une meilleure connaissance des critères d'élimination de la dentine infectée et de l'antisepsie de la dentine affectée résiduelle ;
- Une adaptation et un apprentissage du praticien à des gestes techniques spécifiques ;
- Savoir distinguer l'efficacité des nouveaux outils entre le traitement chirurgical et la préparation proprement dite ;
- Obturer la préparation avec le matériau de choix.

1.5.La mise en œuvre [109]

Après une évaluation approfondie du risque carieux individuel du patient (vu au-dessus), les critères d'intervention pour un traitement minimal invasif sont :

- L'extension dentinaire du processus carieux ;
- Sa rapidité ;
- La présence de douleurs pulpaires;
- La nécessité de restaurer la fonction ;
- Et éventuellement l'esthétique.

1.5.1. Diagnostic

Toutes les aides visuelles ou autres outils de diagnostic vont permettre la préservation de l'esthétique, par la détection de plus en plus précoce des lésions carieuses, en particulier dans les zones proximales.

Les stratégies conventionnelles de diagnostic des lésions carieuses, telles que les techniques d'observations (visuel, sondage), sont basées sur des critères essentiellement subjectifs ne permettant que de détecter des lésions amélares de l'ordre de 200 à 300 microns. [22]

La radiographie reste l'examen le plus utilisé par le praticien. Elle est notamment très utile pour détecter une reprise de carie, des caries invisibles à l'œil nu ou des caries proximales. La radiographie bite wing permet une détection et une visualisation des lésions carieuses, du secteur maxillaire et mandibulaire, en même temps, sur un seul cliché. Mais elle

ne permet que de détecter des caries de l'ordre de 500 microns ce qui peut s'avérer insuffisant pour une détection précoce. [4,6]

De nombreux moyens de diagnostic voient le jour et apparaissent en cabinet, dans le but de compléter les dispositifs conventionnels. Cette détection, au stade initial de la lésion, est alors plus précise grâce à des instruments avec une sensibilité et une spécificité optimale, comme les loupes, le laser fluorescent, le dispositif à l'impédance électrique, la caméra intra-oral, le traitement d'image, etc.

Les plus fréquemment rencontrées sont les loupes et les binoculaires avec un grossissement qui varie de 2,5 fois à 7 fois. Le microscope présente un grossissement allant jusqu'à 20 fois. L'examen est encore plus minutieux et précis. [4,2] (Tableau 2)

Moyens de diagnostic	Loupe	Microscope
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> -Grossissement -Augmentation de la distance de travail -Soulagement du dos 	<ul style="list-style-type: none"> -Grossissement libre -Excellente visibilité -Ergonomie -Concentration sur un champ opératoire étroit
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> -Grossissement limité -Tension cou -Vue d'ensemble limité 	<ul style="list-style-type: none"> -Coût -Vue d'ensemble limité

Tableau 2 : Moyens de diagnostic des lésions carieuses (1).

Il existe d'autres nouvelles technologies, plus performantes, plus sophistiquées mais qui présentent des inconvénients à différents niveaux (coût, taille physique, expérience des cliniciens..) et s'éloignant d'un exercice en omnipratique [117,109].

Le tableau résume les avantages et inconvénients de différentes technologies de diagnostic des lésions carieuses (Tableau 3).

Moyens de diagnostic	Caméra intra-orale	Dispositif à l'impédance électrique	Transillumination par fibre optique FOTI
Avantages	-Amélioration de la communication avec le patient, -Présence de lumière, -Agrandissement, -Analyse et modification informatique de l'image, -Archivage dans le dossier patient.	-Pas d'étalonnage possible.	-Taille, -Ergonomie, -Simplicité, -Coût, -Polyvalent, -Visualisation des caries proximales.
Inconvénients	-Qualité d'image dépend de la résolution de la caméra, -Artéfacts de mouvements (patient/praticien).	-Expérience praticien pour le protocole de mise en place pour éviter les interférences.	-Absence de restauration, -Expérience praticien, -Interférences.

Moyens de diagnostic	Fluorescence laser : QLF	Laser à fluorescence : Diagnodent	Transillumination par fibre optique avec image numérique DIFOTI
Avantages	-Pas de calibrage, -Grossissement, -Pas de rayonnement ionisant, -Participation patient.	-Simple, -Rapide, -Détection carie invisible à l'œil nu, -Communication patient, -Suivi, -Contrôle de l'évolution de la lésion.	-Précision, -Agrandissement, -Diagnostic précoce, -Participation patient, -Moins dépendant de l'expérience praticien que FOTI.
Inconvénients	-Difficulté de détection des lésions proximales, -Diagnostic complété par examen visuel.	-Coût, -Bon nettoyage, -Absence de restauration.	-Expérience praticien, -Taille, -Pas de perspective de la lésion.

Tableau 3 : Moyens de diagnostic des lésions carieuses (2).

Ainsi, la détection, de plus en plus précoce des lésions carieuses, est possible par la haute force de précision des nouveaux dispositifs, permettant ainsi une intervention thérapeutique micro invasive, quand elle est nécessaire et en concordance avec les classifications modernes.

1.5.2. Choix de la cavité à restaurer : Classification SiSta

Les principes de Black sont devenus obsolètes, ne correspondent plus aux données actuelles de la science, car ils sont fondamentalement invasifs, et sont destinés à l'obturation à l'amalgame.

Ceci a poussé Mount et Hume à établir en 1998 [87,88] une nouvelle classification des lésions carieuses. Elle définit trois sites correspondant aux zones de rétention de la plaque bactérienne et quatre tailles de lésions déterminées par l'extension de la carie. Mais, cette classification a l'inconvénient d'exclure les lésions dont le traitement non invasif peut être entrepris. Elle a donc été modifiée par Lasfargues en 2000 [70], se nommant le **concept SiSta** (Site de cariosusceptibilité et Stade évolutif de la carie) et reposant sur 3 principes : le principe d'économie tissulaire, le principe d'adhésion et le principe de bio-intégration (Lasfargues et Colon, 2009).

La classification SiSta, détermine les lésions carieuses selon le site de la lésion et son stade évolutif et introduit pour chacun des trois sites, un stade initial (stade 0) qui correspond à une lésion nécessitant un traitement non-invasif. (Tableau 4)

Stades	Diagnostic clinique	Indications thérapeutiques
Stade 0	Lésion initiale amélaire sans cavitation ou jonction émail-dentine, pas de recours à une intervention chirurgicale.	Thérapeutique non invasive de reminéralisation (verniss, sealant) et surveillance pour évaluer l'évolution carieuse.
Stade 1	Lésion dans le 1/3 externe de la dentine (microcavitation et intervention chirurgicale).	Préparation ultraconservatrice et obturation adhésive injectée. Traitement prophylactique des surfaces adjacentes à la lésion.
Stade 2	Lésion de taille modérée, 1/3 médian de la dentine, sans affaiblir les cuspidés (intervention restauratrice).	Préparation conservatrice à minima et obturation directe collée.
Stade 3	Lésion 1/3 profond de la dentine fragilisant les structures cuspidiennes (intervention restauratrice).	Préparation adhésive et restauration collée directe ou indirecte préservant et/ou renforçant les structures dentaires résiduelles affaiblies.
Stade 4	Lésion dentinaire parapulpaire avec atteinte des cuspidés (intervention restauratrice).	Préparation adhésive et restauration indirecte protégeant par recouvrement les structures dentaires résiduelles.

Tableau 4 : Guide de décision thérapeutique, en fonction du stade évolutif des lésions carieuses (Selon Lasfargues JJ et coll, 2000) [85].

Les indications thérapeutiques du tableau 4 ne concernent que les dents dont la pulpe peut être conservée vivante.

Les stades 1 et 2 peuvent être comblés par des restaurations directes. En revanche, des restaurations indirectes, de type onlay, sont recommandées pour les stades 3 et 4.

1.5.3. Elimination de la dentine cariée [109,7]

Les critères visuels, auditifs, tactiles, colorimétriques et sensitifs n'ont de sens que s'ils sont pris dans leur globalité par rapport à une approche minimaliste de l'exérèse. Leur objectivité et subjectivité doivent s'additionner, pour nous permettre de différencier au mieux, les tissus dans l'interface infectée/affectée. (Tableau 5)

La dentine cariée à excaver dépend de plusieurs co-variables interdépendantes : la dent, la lésion carieuse, la cavité orale, le patient et le chirurgien-dentiste.

En ce qui concerne la dent et la lésion carieuses sont évalués :

- La vitalité pulpaire : évaluer à partir des signes cliniques, des symptômes et des enquêtes appropriées (une combinaison de tests électriques, thermiques et radiographiques),
- La profondeur de la lésion,
- L'étendue restante de la dent saine : Une approche minimalement invasive permet, non seulement, d'excaver la dentine uniquement infectée, mais aussi de conserver plus de structure dentaire et d'aider à retenir et à soutenir la restauration définitive. Les restaurations de petite taille sont plus faciles à gérer, à la fois, pour le dentiste et pour le patient. En effet, une surface réduite de restauration correspond à une zone de nettoyage facilement accessible pour le patient et lui permettra d'enlever plus régulièrement le biofilm en réduisant ainsi le risque d'apparition de caries.

Critères d'élimination	Valeurs cliniques	Commentaires
Sensation du sondage	+/-	Grande variabilité en fonction de la forme de l'extrémité de la sonde, de la pression exercée et de la dureté des tissus dentaires
Cri dentinaire	+/-	Idem auquel s'ajoute la variabilité liée aux capacités auditives de l'opérateur
Couleur de la dentine	++	La dentine affectée est souvent plus foncée et plus sèche que la dentine infectée. La passivation de la lésion carieuse renforce ce mécanisme.
Variation de la dureté	++	La dentine affectée est plus dure que la dentine infectée, mais cette sensation de dureté dépend de la pression exercée et de la qualité instrumentale.
Signal autofluorescent	-	Intérêt in vitro
Diminution de la charge bactérienne	-	Intérêt in vitro
Douleur	+	Pour les techniques manuelles et le traitement chimique, la douleur, variable en fonction des patients, est souvent le signe d'arrêt de l'excavation ou du raclage
Révélateurs de caries	++	À utiliser avec prudence dans les cavités très profondes pour ne pas risquer un surtraitement

Tableau 5 : Valeurs cliniques des principaux critères d'élimination de la dentine cariée [109].

1.5.4. Matériel à utiliser pour l'élimination carieuse

Il existe des considérations cliniques à ne pas négliger afin de savoir si la restauration par un traitement à minima est faisable. L'accès de l'instrumentation à la lésion carieuse, l'ouverture buccale, la localisation de la dent, de la cavité, la position des dents adjacentes et antagonistes... restent déterminants pour le recours ou non à telle ou telle technique d'élimination de la carie et de restauration.

Il existe des techniques non invasives, de reminéralisation, pour les lésions carieuses débutantes évitant ainsi une restauration. Mais lorsque la lésion devient cavitaire, il faut recourir à une intervention à minima, répondant au principe de l'économie tissulaire, lors de l'éviction carieuse.

Dans cette partie, nous allons recenser les différents moyens disponibles pour répondre à cet objectif.

Tout d'abord, les outils utilisés ont des impératifs à respecter [109] :

- Confortables et faciles d'utilisation ;
- Sans douleur pour le patient et silencieux (si possible);
- D'une efficacité indépendante de la pression exercée ;
- Ne doivent pas générer de chaleur et de vibration tout en discriminant les tissus sains des tissus pathologiques ;
- Une aide à l'accès et à la visualisation de la zone à traiter ;
- Les effets iatrogènes sur le complexe pulpaire et les faces proximales adjacentes soient minimaux ;
- Ils aient une capacité antiseptique en soi, tout en assurant le préconditionnement des tissus dentaires ;
- Ils soient efficaces quels que soient l'état, l'aspect ou la dureté de surface de la lésion carieuse.

Il faut distinguer les outils plus spécifiques aux traitements ou à l'élimination de la dentine infectée, à ceux plus appropriés pour la préparation de la cavité.

- Le curetage manuel, chimique, l'ozonothérapie sont plus spécifiques aux traitements de la dentine cariée,
- tous les autres systèmes sont plus efficaces pour réaliser la préparation.

1.5.4.1. Instruments spécifiques à la lésion carieuse

De nouvelles techniques d'élimination des tissus cariés, ont été développées comme substitut ou alternative au fraisage tel que l'excavation manuelle, l'air abrasion, la sono – abrasion, les lasers et la méthode chimio- mécanique dans le but de :

- Préserver le maximum de tissu dur.
- Protéger le complexe pulpo-dentinaire.
- Créer une interface biocompatible avec les techniques de collage, minimisant ainsi les récurrences de carie.

1.5.4.1.1. Curetage manuel : Excavation

Les excavateurs manuels ont des formes de cuillères, sont différents par leur taille et s'adaptent ainsi la lésion carieuse. Lors de l'excavation, la surface dentinaire est recouverte de boue dentinaire, l'ensemble ayant un aspect rugueux. Les tubulis sont très rarement ouverts quel que soit le grossissement de l'image. [109]

1.5.4.1.2. Traitement chimique : Carisolv® [109, 91]

En 1998, la société Suédoise MediTeam mettait sur le marché le Carisolv®, produit susceptible de permettre " la dissolution chimique de la carie ". Cette technique non mécanique, peut être particulièrement nécessaire, chez les patients difficiles, fragilisés ou non coopérants. [90]

Le protocole associe une action chimique et un curetage manuel grâce à :

- Un premier gel à base d'hypochlorite de sodium à 0,95%,
- Un deuxième gel composé de chlorure de sodium, du carboxyméthylcellulose, d'hydroxyde de sodium et d'acides aminés (acide glutamique, leucine, lysine).

L'ensemble, une fois mélangé, forme un gel incolore, qui permet la dégradation du collagène affecté par la carie.

- Un jeu d'instruments spéciaux permettant d'apporter le gel
- Des excavateurs mousses capables d'accéder à toutes les zones de la cavité, pour décoller, par copeaux, la matière dissoute. [91,82]



Figure 2: Illustration de la seringue Carisolv®. [123]

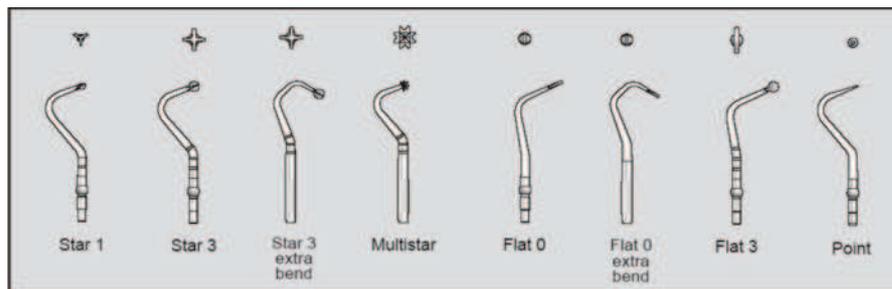


Figure 3 : Instruments « porte gel » et excavateur mousses spécifiques. [64]

Avant de commencer l'application du gel, il est nécessaire d'hydrater la dentine pendant 30 secondes afin de rendre mou les tissus cibles. Ensuite, le gel est appliqué, grâce à aux instruments « porte gel », pendant quelques minutes. Ce temps d'application varie en fonction de la profondeur carieuse et de la maturité de la dent. Après ce délai, les tissus sont devenus très mous et peuvent être éliminés à l'aide d'excavateurs mousses spécifiques, qui permettent un raclage dentinaire et non une excavation. On obtient alors une surface dentinaire rugueuse avec un peu de boue dentinaire. On procède alors à un rinçage abondant. [3,96]

La durée du traitement de la carie par Carisolv® est augmentée de 8 min par rapport à un traitement par instruments rotatifs mais le temps de traitement total est compensé par le non recours à l'anesthésie, qui prend généralement 5-10min. [48,69]

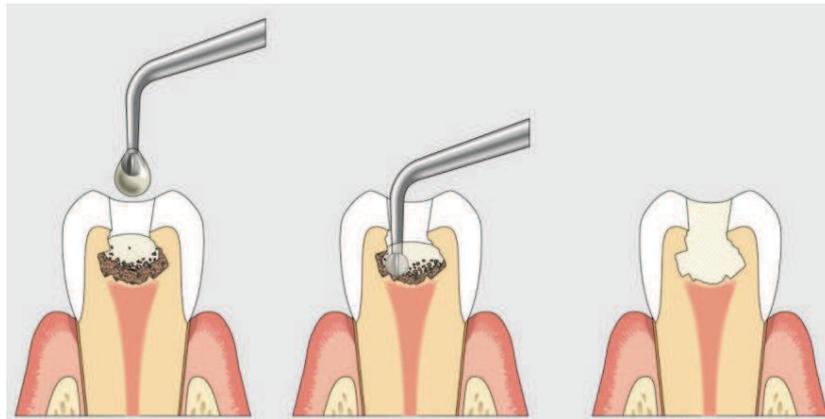


Figure 4: Schéma de l'apport du gel, de l'excavation et de la cavité propre avec Carisolv®. [64]

Le principe biologique correspond à une dissolution chimique, par une attaque spécifique de la solution chlorée sur le collagène partiellement dégradé de la dentine cariée. En effet, les trois acides aminés subissent une chloration, par l'ion ClO⁻ de l'hypochlorite de sodium. Cette chloration, réduit l'activité délétère de l'hypochlorite sur les tissus sains, tout en permettant une action des chloro-amino-acides. Ces acides aminés, une fois modifiés, agissent sur les liaisons hydrogènes et autres forces stabilisant la triple hélice du collagène affecté sans perturber les liaisons covalentes saines. Le collagène, affecté, modifié, est ensuite éliminé. [91,109]

Avantages	Inconvénients
-Action antiseptique du gel -Pas d'utilisation d'anesthésie -Réduction de l'anxiété -Absence bruits, vibrations et échauffements -Peu d'apprentissage du praticien -Efficacité vis-à-vis de la dentine infectée -Préservation de la dentine affectée -Élimination sélective des tissus carieux	-Temps d'application -Coût -Accès direct à la dentine cariée (parfois recours instruments rotatifs et ses inconvénients)

Tableau 6: Avantages /Inconvénients du système Carisolv®. [91, 82,4, 74,35, 80,102]

Les indications [91, 82,4]

- Lésions dentinaires (stade 1 et 2 SiSta) avec ouverture de l'émail surplombant,
- Lésions avec accès direct, lésions cervicales et radiculaires,
- Lésions profondes proche de la pulpe.

1.5.4.1.3. Traitement chimique : Papacarie®

Ce système, non-mécanique, se présente sous la forme de gel en seringue de 1mL. Il est composé de papaïne et de chloramines.

La papaïne est située entre l'écorce et la pulpe de la papaye verte adulte, le fruit du papayer. Elle a des propriétés bactéricides et bactériostatiques à la fois sur les bactéries gram + et gram – (*S. aureus*, *E. coli*, *B. cereus*, *P. aeruginosa* et *S. flexneri*). C'est une enzyme protéolytique capable de digérer des protéines, d'éliminer les tissus carieux, d'accélérer le processus de cicatrisation, sans endommager les tissus sains. L'antitrypsine a1, est une anti protéase plasmatique, présente dans les tissus sains et qui permet d'inhiber la digestion des protéines. L'absence de l'antiprotéase dans le tissu carieux, permet à la papaïne de casser les molécules de collagènes partiellement dégradées, permettant l'excavation de la dentine cariée, provoquant un débridement chimique, un phénomène de granulation et d'épithélialisation. Elle permet, également, de faciliter le nettoyage des tissus et des sécrétions nécrotiques.

Les chloramines sont formés par la réaction entre le chlore et l'ammoniaque. Ils ont des propriétés bactéricides et de désinfection.

Selon différentes études [44] [79] [111], les chloramines retardent le développement des bactéries pathogènes, agit chimiquement sur la dentine cariée pour faciliter son excavation et permet l'ouverture des tubulis dentinaires, avec une action moins agressive sur la dentine saine mais plus profonde sur la dentine affectée, que Carisolv®.



Figure 5: Illustration d'une seringue de 1mL de Papacarie®. [120]

Cependant, ce produit étant relativement récent il n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études cliniques mais il semble efficace et moins cher que Carisolv®.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Pas d'anesthésie -Pas d'atteintes des tissus sains -Efficace sur les tissus carieux -Pas d'élévation thermique -Coût -Méthode sûre et facile à mettre en place -Plus rapide que Carisolv® (à confirmer par des études et opérateur dépendant) 	<ul style="list-style-type: none"> -Accès direct à la dentine cariée donc nécessité de recourir à l'instrumentation rotative et ses inconvénients -Nécessité de plus d'études pour justifier son utilisation clinique

Tableau 7 : Avantages/Inconvénients de Papacarie®.

Papacaïne® présente les mêmes indications que Carisolv®.

1.5.4.1.4. Ozonothérapie [62, 109, 33, 4, 49]

Cette technique, non-mécanique, se distingue par son action antibactérienne, mais son efficacité réelle demande à être prouvée et confirmée par la littérature. Elle présenterait un bon potentiel dans les lésions non cavitaires et montrerait alors ces limites dans les lésions cavitaires. Son absence de polyvalence et son coût élevé la rendent peu attrayante. Le but de ce procédé est de stériliser les caries. [62, 33]

Les ciments aux oxyphosphates additionnés de cuivre ne pouvant être utilisés seulement lors de lésions cavitaires, l'ozonothérapie ne rentre donc pas dans ce protocole opératoire décrit dans cette thèse.

De plus, les études in vivo sont encore insuffisantes pour parler d'une réelle efficacité de l'ozone en odontologie conservatrice. [33]

1.5.4.2. Instruments spécifiques à la préparation de la cavité

1.5.4.2.1. Les nouvelles fraises

Ce curetage mécanique rotatif, entraîne douleur, inconfort, dommages du complexe pulpo-dentinaire et des mutilations excessives du tissu sain dentaire.

1.5.4.2.1.1. Micro fraise [4, 109,58]

Les premiers coffrets de fraises pour microdentisterie ont été conçus en 1999-2000. Ce sont des fraises boule, poire, cylindrique, à bout arrondi, dont la partie travaillante est plus réduite, avec un diamètre de 5 à 9 dixième de millimètres, avec le col très long et fin, ce qui permet d'avoir une meilleure visibilité, une meilleure diffusion du spray, donc un refroidissement efficace et surtout de préserver au maximum les tissus sains. Elles s'utilisent à une vitesse de rotation de 160 000 tours/min.

Avantages	Inconvénients
-Meilleur accès visuel, -Choix de la granulométrie (précision des résultats à obtenir), -Préservation maximale des tissus sains.	-Peu sélective du tissus carieux (+/- surpréparations), -Plus fragile donc faible pression, -Sensibilité accrue du praticien, -Ne pas utiliser pour la dépose de matériaux d'obturation.

Tableau 8 : Avantages/Inconvénients des microfraises.

Les indications sont :

- L'aménagement cavitaires fins Sista 1.1, 1.2, 3.1 et 3.2,
- L'éviction de la dentine cariée,
- Le traitement des sillons,
- L'aménagement cavitaire proximal SiSta 2.1, 2.2.

1.5.4.2.1.2. Fraises en polymères : Fraises Smartprep de SS White® [4, 109, 58]

Ces fraises, en polymères sont à usage unique, utilisé à des vitesses de 500 à 800 tours/min. Elles évitent la surpréparation car elles ont une dureté inférieure aux tissus sains et existent en 3 tailles différentes.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Sélective -Facilité d'utilisation 	<ul style="list-style-type: none"> -Excavation carieuse plus longue -Accès à la lésion avec une instrumentation rotative classique (inconvénients que ça engendre) -Usage unique -Coût -Ressenti du patient non amélioré

Tableau 9: Avantages/Inconvénients des Fraises Smartprep de SS White®.



Figure 6: Fraises Smartprep de SS White®. [122]

Peu d'études ont été réalisées sur ce type de fraise, leur efficacité réelle reste à prouver.

1.5.4.2.2. Le Laser [4, 92, 24,58]

Le Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), ou en français “amplification cohérente de la lumière par émission stimulée”, a été développé initialement pour le traitement des tissus mous. C'est une technique non-mécanique. Avec les avancements technologiques, il est maintenant appliqué aux tissus durs. En microdentisterie, le traitement par laser, permet d'obtenir une action sélective sur les différents tissus dentaires sains et cariés. [92]

Les principaux lasers utilisés en odontologie conservatrice sont :

Type de laser	Laser Co2	Laser Er : YAG	Laser Er, Cr : YSSG
Longueur d'onde	>10 000nm	>2 500 nm	
Absorption	Eau	Eau, hydroxyapatite	
Domaine principal d'utilisation	Chirurgie tissus mous	Préparation de l'émail et de la dentine	

Tableau 10: Différents lasers utilisés en microdentisterie. [92]

Le principe du laser est basé sur l'absorption d'énergie électromagnétique par les tissus du corps. La différence énergétique entre l'état excité et l'état de repos du milieu équivaut à l'énergie des photons émis. [92,24]

Les différents lasers diffèrent par le niveau d'excitation de leur milieu. Les différents lasers engendrent différentes longueurs d'ondes. La longueur d'ondes est inversement proportionnelle à l'énergie. La quantité d'énergie émise est, donc, propre à chaque type de laser. Mais la fréquence du laser est proportionnelle à l'énergie. Ainsi, un laser à haute fréquence est plus riche en énergie et avec une longueur d'onde plus faible [4].

Le traitement par laser sous-entend l'élimination des tissus carieux, par l'absorption des radiations électromagnétiques au sein même des tissus carieux.

Le **laser CO2** est connu depuis les années 60. Il est utilisé dans la chirurgie des tissus mous, du fait de sa forte absorption dans l'eau, mais inapproprié pour la préparation des tissus durs. En effet, son émission, essentiellement continue, entrainerait une carbonisation et des craquelures de l'émail et de la dentine exposée. Certains, n'étant pas équipés de spray air/eau diffuserait une chaleur trop importante pour l'organe dentaire. Le laser CO2 TEA semble corriger les défauts du laser CO2. [47]

Les **lasers ER : YAG** (Erbium, Yttrium, Aluminium, Garnet) et **ER, CR: YSGG** (Erbium, Chrome, Yttrium, Gallium, Garnet) sont très proches et leurs applications presque similaires. Ils sont tous deux capable de préparer l'émail, la dentine, le ciment, l'os et les tissus carieux, en plus des applications sur les tissus mous. [4]

Par l'effet hydrocinétique, le spray englobe le faisceau laser, permettant de refroidir le milieu lors de la préparation et d'aider à la préparation des cavités (meilleure visibilité).

Des études ont montré que le laser ER : YAG est plus absorbé pour l'eau que le laser ER, Cr : YSGG. Quand un laser est moins absorbé, sa pénétration est plus importante dans les tissus mais moins efficace pour l'ablation des tissus durs et génère plus d'effet thermique. Le laser ER : YAG n'engendre pas d'effets néfastes sur la pulpe. [5,13]



Figure 7 : Laser Er : YAG pulser de KAELUX. [119]

Avantages	Inconvénients
-Sélectivité et respect des principes d'économie tissulaires -Peu d'élévation thermique -Antimicrobien -Précision des limites cavitaires -Sans anesthésie -Sans vibration ni bruit -Polyvalence (tissus durs et mous)	-Coût -Opérateur dépendant -Nécessité d'une formation -L'adhésion peut être compromise -L'éviction de l'émail carié est plus longue qu'avec les instruments rotatifs

Tableau 11: Avantages/Inconvénients du Laser ER : YAG.

Les indications sont :

- Lésions carieuses SiSta 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 3.2 et 3.3,
- Cavité tunnelisée et protection de la dent adjacente [4].

1.5.4.2.3. La sono et ultrasono abrasion

Le son est créé grâce à des ondes longitudinales, qui sont elles-mêmes créées par la vibration mécanique du milieu dans lequel elles passent, en l'occurrence ici l'air, est propagé grâce à l'élasticité du milieu environnant. Il est exprimé en hertz (Hz). [109]

En odontologie, les sons utilisés sont :

- Les sons avec une fréquence d'ondulation de 2 000- 6 000 Hz
- Les ultrasons avec une fréquence d'ondulation de 20 000- 45 000 Hz

1.5.4.2.3.1. Sono-abrasion [14, 29, 58, 109,66]

La sono-abrasion est, une technique mécanique, apparue dans les années 90, qui peut s'utiliser à la fois seule ou en complément d'une instrumentation rotative. Elle permet de réaliser des préparations cavitaires, tout en préservant les tissus, d'obtenir des limites de cavités nettes et adaptées aux restaurations. [14]

Le principe de la sono-abrasion est basé sur des vibrations, dû à de l'air comprimé, qui part de l'unité, transmis dans le manche de la pièce à main jusqu'à l'insert. Cet air pressurisé actionne un rotor pneumatique qui provoque une oscillation circulaire transmise à l'insert. Aucun générateur supplémentaire n'est nécessaire. L'insert a une activité travaillante selon un mouvement elliptique tridimensionnel, ce qui lui permet d'être actif sur toutes les faces. [29] Un spray d'eau est nécessaire, pour réduire la chaleur produite par friction sur les surfaces dentaires.

Les inserts ont une fréquence qui varie de 2 000-6 000Hz, provoquant une déflexion à la pointe de l'insert de 60-240µm et avec une fréquence de vibration à l'origine d'un sifflement majoré d'environ 70 décibels. La pression est contrôlée au niveau de la pédale et doit être de l'ordre de 3,5 bars. Le praticien ne doit surtout pas exercer de pression manuelle sinon les oscillations sont étouffées, et l'insert n'est plus efficace. Les inserts varient par leur forme ce qui leur donne des indications spécifiques. [109].

Les indications sont [4] :

- La finition des préparations,
- Le traitement des caries juxta gingivales,
- Le traitement des caries des sites 1, 2, 3 et stades 1, 2.

1.5.4.2.3.2. Ultrasono-abrasion [14, 29, 58, 109, 66]

Les ultrasons sont des ondes mécaniques sinusoïdales qui se propagent dans la même direction que la vibration et dans un milieu élastique.

Il existe 2 types de phénomènes ultrasonores : la piézoélectricité et la magnétostriction. Ce dernier ne rentre pas dans un cadre de traitement conservateur, c'est pour cela qu'il ne sera pas développé dans cette partie.

Les détartreurs piézoélectriques sont constitués d'une pièce à main, à l'intérieur de laquelle se trouvent des pastilles de céramique. Ces dernières changent de formes (contraction, élongation) par le courant alterné qui se propage, ce qui provoque la vibration de l'insert. Il est obligatoire d'avoir un spray, non seulement, pour refroidir l'échauffement thermique, créé au contact insert-dent mais également permettre un nettoyage régulier de l'insert, évitant ainsi son encrassement. Ce spray crée un phénomène de cavitation, qui permet le décollement des débris de la surface cavitaire. Les inserts ont une fréquence comprise entre 18 000- 35 000 Hz et une amplitude de 12-100µm.

Le principe de fonctionnement de l'ultrasono-abrasion allie 3 phénomènes : le martèlement, le balayage et l'abrasion.

- Le martèlement correspond à l'action de l'insert sur la dent, ce qui permet d'éliminer l'émail non soutenu.
- Le balayage correspond au déplacement latéral de l'insert par rapport à la dent, ce qui permet l'abrasion des parois amélaire pour mettre dans un autre temps le curetage dentinaire.
- L'abrasion dépend de la granulométrie des inserts, de la puissance à laquelle on utilise ces inserts et des tissus traités. Elle permet la finition des bords de la préparation. Elle n'a d'effet que sur les tissus durs et non sur les tissus mous.

Les indications sont [4] :

- Le traitement des puits et des sillons occlusaux,
- Les microréparations occlusales, cervicales et tunnels,
- Les microréparations cavitaires proximales, distales ou mésiales à abord vestibulaire ou lingual/palatin,
- La finition des bords cervicaux.

	Avantages	Inconvénients
Ultrasono-abrasion	<ul style="list-style-type: none"> -Préservation de la surface proximale des dents adjacentes (inserts hémi-travaillants) -Préservation de la crête marginale (selon le cas) -Pièce à main commune au détartreur -Préservation de l'esthétique naturelle -Perception tactile plus fine que les instruments rotatifs -Champs opératoire dégagé grâce aux inserts -Plus rapide que le procédé sonore -Confort patient (qualité des vibrations) -Instruments de finition de référence 	<ul style="list-style-type: none"> -Préparation initiale de la cavité avec des fraises diamantées -Formation de boue dentinaire -Opérateur dépendant (formation requise) -Efficacité dépend de la dureté des tissus dentaires -Meilleure élimination de la dentine cariée avec fraise boule ou excavateur manuel (peu efficace sur tissus mous) -Risque de fracture amélaire non renseigné par le fabricant (limité la pression) -Vitesse plus lente que les instruments rotatifs -Possibilité interférences acoustiques chez les porteurs de prothèses auditives -Production d'aérosol : protection praticien (gant, masque, lunettes), bonne aspiration et bain de bouche avant l'acte pour le patient.
Sono-abrasion	<ul style="list-style-type: none"> -Préservation de la surface proximale des dents adjacentes -Préservation de la crête marginale (cavité slots et tunnel) -Préservation de l'esthétique naturelle -Faible risque de fracture amélaire 	<ul style="list-style-type: none"> -Pièce à main spécifique (refroidissement à eau) -Forte pression d'air nécessaire (>3 bar) -Formation de boue dentinaire -Opérateur dépendant (formation requise) -L'efficacité dépend de la dureté du tissu dentaire -Préparation initiale de la cavité avec des instruments rotatifs

Tableau 12 : Avantages/Inconvénients de la sono et ultrasono-abrasion.

L'ultrasono-abrasion met en avant un manque d'efficacité qui ne permet pas de l'inclure dans ce protocole opératoire décrit par cette thèse.

1.5.4.2.4. L'air abrasion [16, 58, 4, 8,109]

L'air abrasion est une technologie dentaire ancienne, mise au point dès 1943 par le docteur R. Black. De son travail et de ses recherches ont résulté la création du premier Unit d'air abrasion : le S.S. White Air Dent unit [16]. Les facteurs qui ont mené à l'abandon de l'air abrasion, étaient conditionnés par les différentes technologies et matériaux disponibles à l'époque. [8] En effet, le dépôt d'excès de poudre était difficile à éliminer par les systèmes d'aspiration. L'apparition des turbines à grande vitesse, à la fin des années 50, a mis de côté l'utilisation de l'air abrasion. Mais, entre les années 50 et 90, les systèmes d'air abrasion ont évolué. Ils ont perfectionné les moyens de contrôle du jet, pour atteindre une précision de l'ordre du micromètre, et développer des systèmes d'évacuation qui ont permis de réduire la quantité de poudre accumulée. L'introduction des systèmes d'air abrasion de troisième génération a permis d'élargir le champ d'application de cette technologie en odontologie conservatrice.

Le principe d'air abrasion utilise l'énergie cinétique de particules abrasives, ici de l'alumine. C'est l'air comprimé de l'unit, qui propulse à haute vitesse, les particules d'alumine. Elles acquièrent une énergie cinétique, qu'elles transfèrent aux surfaces dentaires, lorsqu'elles arrivent à leur contact.

Cette énergie dépend de la masse (m) et de la vitesse (v) des particules d'alumine selon la formule physique suivante : $E_k = 1/2mv^2$ [1,53]. L'énergie cinétique transférée aux surfaces dentaires (substrat) permet de les couper. On remarque que plus le substrat est dur, plus la vitesse de coupe est élevée et inversement plus le substrat cible est mou, plus la vitesse de coupe est réduite. Ainsi, avec l'alumine comme abrasif, un système d'air abrasion peut couper l'émail sain, la dentine, le ciment, la céramique et l'émail carié rapidement. Par contre, il est plus difficile de couper la dentine cariée ainsi que l'amalgame et les alliages non précieux [97,14].

Le système de l'air abrasion utilise un jet de particules, fin et précis qui abrase les structures dentaires proportionnellement à :

- la taille des particules,
- la pression générée,
- la taille et l'angulation de l'insert [40,14],
- la distance séparant l'insert de la surface tissulaire.



Figure 8 : Le Rondoflex® plus 360 de Kavo. [121]

1.5.4.2.4.1. Le type, la forme et le débit de particules

L'abrasif majoritairement utilisé est l'alumine alpha pure. Dans une poudre de granulométrie 27 μm , environ 93 % des particules sont de l'alumine, les 7 % restant regroupent des oxydes (SiO_2 , Cr_2O_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 et TiO_2), qui améliorent l'effet de coupe surtout sur la dentine cariée [74, 73]. Ces particules sont irrégulières, tranchantes, biocompatibles, sans danger et hydrophobes. Les études sur les particules d'alumine ont montré que l'efficacité de coupe est évidente sur l'émail et la dentine, sans distinction. Cependant, on a remarqué une difficulté plus importante à éliminer le tissu carieux [9]. Même en variant la taille et la forme des particules ainsi que la pression, l'abrasion à l'aide de particules, d'alumine n'est pas sélective. C'était sans compter sur l'équipe de Banerjee et al (2000), qui ont prouvé que l'on pouvait enlever la dentine ramollie en utilisant une poudre contenant de l'alumine et de l'hydroxyapatite [11,10]. Ce qui a conduit à la création de particules de phosphosilicate de sodium ou verres bioactifs. En effet, ce type de particules peut éliminer de façon plus sélective les substrats mous en étant moins abrasif envers les tissus durs sains. Banerjee et al (2011) ont prouvé l'efficacité du verre bioactif sur l'émail déminéralisé, aux colorations extrinsèques mais avec un temps d'utilisation plus long que l'alumine [10,14].

Les particules sphériques sont capables d'éliminer plus facilement le tissu carieux, grâce à leur énergie cinétique transmise plus élevée, que les particules anguleuses [56,106].

Il dépend de l'instrumentation utilisée et du type de particules, généralement il est de 3g/min. Il doit être constant pour assurer une efficacité de coupe optimale [4].

1.5.4.2.4.2. La taille

Motisuki C et al (2006) ont montré que les particules de 27 et 50 μ m enlèvent moins de tissus sains que les particules de 125 μ m et avec une efficacité de coupe presque équivalente sur la dentine cariée. Plus la taille des particules augmente, plus l'énergie cinétique transférée à la surface augmente [85, 106]. De plus, on remarque que l'état de surface des tissus résiduels est plus rugueux [9]. Ainsi la taille optimale pour abraser l'émail est de 34 μ m et pour l'éviction du tissu carieux est de 27 μ m.

1.5.4.2.4.3. La distance de projection

La surface d'action dépend de la distance entre la source et la dent. La distance idéale doit être comprise entre 0,5mm et 2mm. L'augmentation de cette distance permet d'obtenir des préparations plus larges, moins profondes, avec une efficacité de coupe moindre et un temps d'application plus long [4].

1.5.4.2.4.4. La pression délivrée

Les différents systèmes d'air abrasion disponibles sur le marché ne travaillent pas à la même pression et peut varier de 40 à 160 Pound per Square Inch (PSI soit 2,7 à 11 bars) [4]. Il faut donc utiliser la pression la plus basse possible ce qui permet, à la fois, une coupe tissulaire efficace, une meilleure visibilité (car vitesses peu élevée) et le maintien du confort du patient [101,9].

Avantages	Inconvénients	Contre-indications
<p>-Risque de fissures et craquelures de l'émail réduit</p> <p>-Pas de vibrations, moins de bruit, pas d'échauffement et moins de dommages collatéraux</p> <p>-Moins de sensibilité post opératoire</p> <p>-Surface rugueuse (utile pour les matériaux adhésifs)</p> <p>-Diminution du recours à l'anesthésie (la douleur ressentie est moindre)</p> <p>-Les particules de verres bioactives sont sélectives sur les tissus carieux et induisent une reminéralisation</p>	<p>-Présence de boue dentinaire</p> <p>-Manque de sélectivité des particules d'alumine sur la dentine cariée</p> <p>-Difficulté de préparation des caries profondes et proximales</p> <p>-Nuages de particules (obligation champs opératoire, gant, masque, lunette et aspiration efficace)</p> <p>-Formation praticien obligatoire</p> <p>-Temps de travail augmenté</p>	<p>-Lésions trop avancées (tissus trop mous)</p> <p>-Dépose d'amalgame</p> <p>-Préparation site 2</p> <p>-Traitement de caries subgingivales</p> <p>Patient ayant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des allergies sévères aux poussières • De l'asthme • Problèmes pulmonaires chroniques • Des extractions récentes • Une opération de la sphère orale • Blessure buccale ouverte ou suture • Chirurgie parodontale récente ou maladie parodontale avancée • Appareil orthodontique récent • Risque d'emphysème

Tableau 13 : Avantages/Inconvénients/Contre-indications de l'air abrasion.

Les indications sont [4] :

- Le traitement des caries précoces SiSta 1 .1, SiSta 1 .2, SiSta 3 .1, SiSta 3.2,
- Les déposes d'anciennes restaurations (composites, CVI défectueux),
- Les traitements sur patients peu coopérants,
- La suppression de défauts superficiels de l'émail (colorations).

1.5.4.2.5. Tableau comparatif des différentes techniques de préparation

Technique de préparation	Email sain	Dentine saine	Email cariée	Dentine cariée	Commentaires
Excavateur	-	-	+	++	-Usage du révélateur recommandé -Respecte les tissus sains -Peu invasif -Temps opératoire un peu long
Instrumentation rotative	+++	+++	+++	+++	-Peu sélective -Bruits et vibrations
Air abrasion	+++	+++	++	+	-Beaucoup de CI -Formation -difficulté d'atteinte des caries profondes -Résultat verres bioactifs ??
Ultrasono-abrasion	+	+	+	-	Manque d'efficacité.
Sono-abrasion	-	+	+	++	-Intéressant pour les lésions proximales.
Traitement chimique	-	-	-	+++	-Efficace sur dentine cariée, -Action antibactérienne -peu invasif mais long et nécessite une ouverture réalisée à l'aide d'une autre technique.
Ozonothérapie					-Peu efficace pour les lésions cavitaires
Laser	-	-	+	+	-Temps plus long -Sélectivité -Formation

Tableau 14 : Comparatif général des différents moyens de préparation des cavités en odontologie conservatrice.

2. L'apport des oxyphosphates additionnés de Cuivre dans un protocole dentaire à minima

L'émergence du concept de la dentisterie à minima exige des nouvelles techniques de restauration. Ces changements nécessiteront de réévaluer l'utilisation des bases et vernis.

2.1. Qu'est-ce que les oxyphosphates additionné de cuivre ou phosphates de zinc additionné de cuivre ?

Ostermaier, en 1879, découvre fortuitement les ciments oxyphosphate de zinc en faisant réagir de la chaux vive avec de l'acide phosphorique. Puis des modifications les amènent à être modifiés au cuivre, à l'argent, aux fluorures. [28]

Les ciments aux phosphates de zinc ou oxyphosphates sont des ciments avec une matrice minérale. Ils sont opaques et ne peuvent être utilisés comme ciment esthétique.

Ces ciments ont une très bonne étanchéité.

Il existe 2 types:

- type 1 : grains fins : 25 μm : scellement des pièces coulées de précision
- type 2 : grains moyens : 40 μm : tous les autres usages.

Chaque type est divisé en 2 classes :

- classe 1 : prise rapide.
- classe 2 : prise normale.

Par addition d'oxyde cuivrique noir CuO ou d'oxyde cuivreux rouge Cu_2O ou encore d'iodure de cuivre vert, on obtient des oxyphosphates antiseptiques. [60, 71, 73, 93,94].

La diversité d'application dans plusieurs procédures et les qualités thérapeutiques de ces nouveaux produits dépassent les attentes des ciments dentaires ordinaires. [30].

2.2. Historique du Cuivre en Médecine

Les Egyptiens, comme toutes les civilisations antiques, avaient une connaissance médicale très liée à la religion. Polythéistes, ils pensaient que la maladie pouvait provenir d'excès alimentaires, de vers, des matières fécales ou encore des démons. Les papyri médicaux révèlent une quantité impressionnante de prescriptions pour toutes sortes de maladies. Le premier dentiste, HesyRe vivant sous la troisième dynastie, fut identifié grâce à la défense d'éléphant, symbole hiéroglyphique de la dent humaine. La thérapeutique conservatrice utilisait des obturations à base de terre de Nubie, de **silicate de cuivre hydraté**, d'éclats de

Pierre ou de blocs d'or massif. [45,38] Le cuivre avait comme vertu de **stériliser** l'eau et les blessures.

Les Grecs de l'Antiquité, à l'époque d'Hippocrate (400 avant JC), sont polythéistes. Ils vénèrent les dieux de l'Olympe, les démons et les héros. Jusqu'au IX^e siècle av. J.C., la maladie est considérée comme la colère des dieux. Le cuivre était prescrit pour les **maladies pulmonaires** et pour **purifier** l'eau potable.

Pendant l'Empire romain, leur religion s'assimile à la religion grecque: par exemple Zeus est assimilé à Jupiter, et Asclépios, dieu de la médecine est remplacé par Esculape. Les ustensiles de cuisine en cuivre ont été utilisés pour **prévenir** la propagation de la maladie.

Dans le Nouveau monde, les Aztèques utilisaient le cuivre pour le traitement des **maladies de la peau**.

Les Américains qui traversaient leur continent, mettaient des pièces de cuivre dans de grands fûts en bois remplis d'eau pour la garder **potable** tout le long de leur voyage.

Dans l'ouest du monde, le cuivre était utilisé dans le traitement du **cancer du poumon** et des **troubles mentaux**.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, les soldats japonais ont mis des morceaux de cuivre dans leur bouteille d'eau pour aider à **prévenir** la dysenterie. Le sulfate de cuivre était (et est toujours) très prisé par certains habitants d'Afrique et en Asie pour la **guérison des plaies** et des **maladies de la peau**.

De nos jours, le cuivre-8-quinolinolate et certains de ses dérivés sont utilisés pour réduire la contamination par les champignons dans les hôpitaux à des concentrations supérieures à 0,4 µg / ml [116], étant donné que l'infection par ces champignons, tels que *Aspergillus* spp, est un problème majeur chez les patients immunodéprimés, tels que les malades du SIDA.

Des études récentes en laboratoire ont démontré que le cuivre a des propriétés **antibactériennes, biocides puissantes et antivirales**. [18] De plus, l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) a récemment (Mars 2008) approuvé que le cuivre et ses alliages sont des matériaux aux propriétés **antimicrobiennes**. [25,17]

2.3. Activités de base du Cuivre

D'après la littérature, il est probable que le premier site endommagé par le cuivre soit **l'enveloppe des micro-organismes**.

En 1988, Ohsumi et ses collègues ont rapporté que Cu^{2+} provoque d'importants **changements de perméabilité membranaire**. La perturbation de l'intégrité de la membrane induite par le cuivre, conduit inévitablement à une perte de viabilité des cellules.

Récemment, Nan Li et ses collègues [90], en utilisant le microscope à force atomique, les courbes force-distance et l'induction couplé à des tests de spectrométrie de masse à plasma, ont étudié les effets austénitiques de l'acier inoxydable contenant ou non du cuivre, sur la membrane plasmique de *E. coli*. Ils ont trouvé que l'acier contenant du cuivre adhère de manière significative et en plus grande mesure, à la membrane plasmique des bactéries par l'intermédiaire des forces électrostatiques exercées par Cu^{2+} , par rapport à l'acier inoxydable sans cuivre. Ils ont rapporté que le dommage initial est survenu sur **les lipopolysaccharides de la membrane externe** qui s'est effondrée, tandis que la partie interne de la bactérie est resté intact.

Le cuivre peut également **interagir avec des protéines microbiennes**, à la fois sur l'enveloppe du micro-organisme (vu ci-dessus) ou à l'intérieur de la cellule, en particulier lorsqu'on le retrouve dans des concentrations élevées et des changements conformationnels dans la structure de la protéine ou du site actif de la protéine peuvent se produire, ce qui peut alors entraîner l'inhibition ou la neutralisation de l'activité biologique des protéines. Beaucoup de bactéries et de champignons réagissent différemment face à l'excès de cuivre. Ils peuvent se défendre par: la formation d'une barrière intra- et extra-cellulaire de perméabilité, les pompes à efflux, la réduction de la sensibilité des cellules cibles pour les ions cuivre, la chélation extracellulaire ou la précipitation par des métabolites sécrétés y compris le cuivre, et l'adaptation et la tolérance par l'intermédiaire d'une régulation positive des gènes nécessaires à la présence de cuivre.

Cependant, **au-dessus d'un certain seuil et d'un temps d'exposition**, qui diffère entre les micro-organismes, ils ne peuvent pas faire face à la surcharge de cuivre et finissent par mourir. [53]

Les ions cuivre peuvent également **endommager les acides nucléiques**. [104,17]
Le cycle d'oxydo-réduction entre Cu^{2+} et Cu^{1+} , qui peut catalyser la production d'un grand nombre de radicaux hydroxyles, avec des dommages sur les lipides, protéines, ADN et autres biomolécules qui fait du cuivre un élément particulièrement réactif. [113]

Ainsi, les microbes tolérants au cuivre sont extrêmement rares.

Notre corps en contient un peu moins d'1 gr et pourtant cet oligoélément essentiel, intervient dans le développement et l'homéostasie de l'organisme. Il participe à de très nombreuses réactions chimiques et enzymatiques (co-facteur).

Il est donc considéré comme **sûr pour les humains** (les dispositifs intra-utérins en cuivre chez la femme). Le risque d'effets indésirables, réactions dues à un contact cutané avec le cuivre, est considéré comme extrêmement faible. Le cuivre est un oligo-élément essentiel

participant à de nombreux processus physiologiques et métaboliques humains, y compris dans la cicatrisation des plaies.

Le cuivre et les composés à base de cuivre, en raison de leur **puissante propriété biocide**, sont maintenant utilisés en routine dans plusieurs domaines de la santé. Son action anti-oxydante puissante, s'exerce par le biais de la superoxydismutase (Cu-Zn-SOD1 et 3). Le Cuivre élimine ainsi les radicaux libres, les déchets toxiques produits lors des réactions chimiques. [107]

De même, l'addition d'oxyde de cuivre dans les pansements a montré d'excellents résultats chez l'humain et sur les animaux, non seulement pour éviter la contamination des plaies, mais aussi et surtout dans le renforcement et la réparation des tissus des plaies.

Le cuivre intervient également dans le transport de l'O₂ dans le sang (synthèse de l'hémoglobine), la respiration cellulaire par la synthèse des cytochromes, la minéralisation osseuse, la neurotransmission, les défenses immunitaires et infectieuses. [107]

L'efficacité des ciments dentaires contenant du cuivre a été prouvée pour avoir des propriétés **antimicrobiennes et anti-cariogènes**. [110, 76]

2.4. Composition [30, 60, 71, 73, 93, 94, 99, 107, 50]

➤ La poudre Copperioncement® contient:

- D'oxyde de zinc (80-90%)
- De magnésie ou oxyde de magnésium MgO, pour augmenter la résistance à la compression (5-10%).
- Du fluorure de calcium (0-5%)

La formulation contient 7% de sels de cuivre, mélangés avec d'autres sels métalliques, dans un ciment de type oxyphosphates de zinc, dans le but de créer des «ions actifs», qui grâce à la faible solubilité, autrefois reproché à ce type de ciments, garantit une protection durable des structures dentaires. [95]

➤ Le liquide en flacon Copal Varnish® (100g) contient [99, 107,50]:

- 27 g de copal,
- 73 g d'éthanol.

Le copal est une résine d'origine végétale, utilisée dans la fabrication des vernis. Le copal est la production de plantes à fleurs (Angiospermes). C'est une oléorésine fossile ou sub-fossile qui provient d'une espèce végétale, qui est classée dans les fabacées (légumineuses) : *Hymenaea Verrucosa* ou (*H. Courbaril*) *Caesalpiniaideae* que l'on trouve en Afrique de l'est (Tanzanie, Kenia, Mozambique, Madagascar, Zanzibar...). La couleur de cette résine se rapproche de celle du champagne.

Le nom de copal vient de : « copalli », mot d'origine aztèque qui signifie encens. Sur l'échelle de Mohs, la dureté du copal est de 1, c'est donc une substance très peu dure. Il est soluble dans l'alcool, l'éther et l'acétone et se liquéfie à 150°C. Soumis à un rayonnement ultraviolet, il a une fluorescence blanche.

Le Copal Varnish® est destiné à être utilisé comme scellement de cavité. Le Copal Varnish® s'utilise comme revêtement intermédiaire (couche de protection). En premier lieu, ce vernis protège le nerf dentaire contre toute irritation pulpaire, due à la phase acide (exothermique), lors de la réaction de prise du ciment aux oxyphosphates additionné de cuivre. Il protège également la dentine, des fluides de la cavité orale. [75]

Le Copal Varnish® sèche immédiatement en formant un film très mince (évaporation du solvant). L'application de plusieurs couches minces est plus efficace que l'application d'une seule couche épaisse. [99] Le soluté restant dans la cavité est le revêtement qui scelle les tubulis dentinaires et assure une protection parfaite des canalicules dentinaires exposées, avant une restauration définitive. [75]

- Le liquide en tube contient :
 - De l'acide ortho-phosphorique (>50%)
 - De l'oxyde de zinc (10-15%)
 - De l'eau (25%). [54]

L'eau influence la réaction de prise acide-base et l'augmentation de la quantité d'eau agit sur la compression et la traction du matériau.

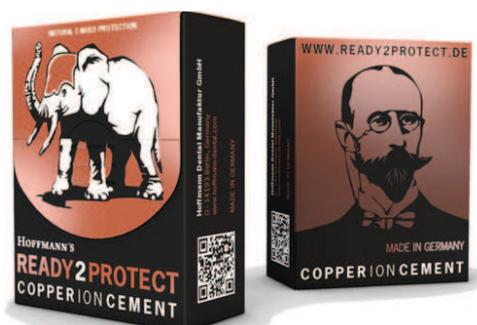


Figure 9 : Illustration du Copperioncement®. [125]

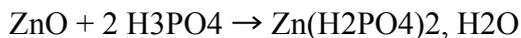


Figure 10 : Illustration du Copperioncement®, Copal Varnish® et l'acide orthophosphorique.

2.4.1. Mécanisme de prise [60, 71, 73, 93,94]

La réaction de prise est le résultat de la réaction entre un acide (liquide) et une base (poudre). L'action de l'acide phosphorique sur la poudre se traduit par la formation de divers phosphates hydrates.

Il existe trois étapes lors de la réaction de prise :



Le phosphate de zinc amorphe est une matrice qui lie les particules de ZnO non réagies et les autres substances.

L'action des phosphates forme un feutrage de cristaux qui provoquent la prise en masse et le durcissement ultérieur du ciment. La substance après prise est donc caractérisée par une matrice dite «matrice à cœur», étant donné l'hétérogénéité des particules solides (pas de mélange homogène des phosphates, mais des grains de ZnO, MgO, avec autour ces phosphates caractérisant la liaison. Ceci explique la porosité de ces ciments.

2.4.2. Facteurs influençants [60, 71, 73, 93, 94]

2.4.2.1. Facteurs physiques

- **Température de frittage** : plus on élève la température, plus la réactivité diminue.

- **Température** : le temps de prise augmente quand la température diminue (plaque de verre froide).
- **Granulométrie** : plus elle est fine, plus la réaction est rapide (augmentation des interfaces poudre – liquide).
- **Vitesse d'incorporation** : le temps de prise augmente lorsque la vitesse d'incorporation diminue. Ces ciments doivent être mélangés lentement. Si l'incorporation est trop rapide, étant donné que la réaction est exothermique, la température de la masse s'élève, diminuant le temps de manipulation et fragilisant le ciment.
- **Rapport poudre - liquide** : la prise est d'autant plus lente que la quantité de liquide est plus importante.

2.4.2.2. Facteurs chimiques

- **Teneur en H₂O** : la vitesse de prise est très sensible à cette teneur, soigneusement réglée par le fabricant. Une augmentation de la teneur provoque une prise accélérée. Un excès de liquide doit être jeté quand toute la poudre est consommée. L'humidité relative doit être maintenue à 80 %.
- **pH du liquide** : il est réglé par un effet tampon.

2.4.2.3. Facteurs extérieurs

- **Gaz carbonique atmosphérique CO₂** : agit avec l'oxyde de zinc de la poudre, si le flacon n'est pas hermétiquement fermé, pour donner du carbonate de zinc : $ZnO + CO_2 \rightarrow ZnCO_3$.
- **Dégagement gazeux** : se produit lors du mélange poudre – liquide. Celui-ci empêche une prise homogène et provoque une désagrégation partielle du ciment.
- **Agents de sulfurations de la cavité buccale** (sulfocyanures de la salive ou des gaz expirés) : sont responsables d'une désagrégation et d'un noircissement.
- **Colorations parasites** : peuvent aussi intervenir par les substances cosmétiques (dentifrices) ou les substances alimentaires (café, certains fruits).

2.5. Indications [54]

Ces produits ont été inventés par des dentistes, pour des dentistes. Copperioncement®, en combinaison avec le Copal Varnish®, permettent fiablement d'éviter l'exposition pulpaire, la progression de la carie et la récurrence de carie dans toutes les applications. Idéal en pédodontie pour éviter les pulpotomies. Efficace pour les patients âgés lors de carie de collet agressive. [30]

- Traitement à minimalement invasif des caries (Minimum Invasive Dentistry),
- Soins « nomades », « soins à domicile »,
- Soins d'urgence ou semi-définitifs sur patients peu motivés,
- Restaurations des dents temporaires ,
- Scellement des fonds de cavité sous amalgames, composites, CVI (coiffage pulpaire indirect),
- Scellement de tous types de restaurations prothétiques (onlay, inlay, couronne, couronne, bridge) à base de métaux précieux, de métaux non précieux et de céramique,
- Scellement de prothèses sur implant.

2.6. Avantages/Inconvénients [99, 107,50, 30, 27, 83,75]

	Avantages	Inconvénients
Copal Varnish®	<ul style="list-style-type: none"> -Pas réactions postopératoire -Scelle les tubulis dentinaires -Isolation efficace (variations thermiques/électriques) -Protection pulpe et dentine -Propriétés antimicrobiennes et antivirales (solvants) -Bonne adhésion du matériau de restauration. 	<ul style="list-style-type: none"> - Liquides inflammables (vernis et solvant) - Evitez contact prolongé produit-peau et produit-gencive. Sinon, lavez abondamment à l'eau - Risque d'allergie à ses constituants -Faible résistance mécanique -Refermer le produit après utilisation (évaporation des solvants).

Tableau 15: Avantages/Inconvénients du Copal Varnish®.

➤ Les Avantages et inconvénients du Copperioncement® :

- Le temps de prise plutôt **long** de 2,5-8 min (selon la norme ISO 9917,1- 2007),
- La préparation nécessite une assistante exercée au spatulage du produit,
- C'est un produit sensible à l'humidité et nécessite un champ opératoire même minime.
- Coût faible
- Une fois sec, il présente une **surface relativement lisse** ce qui empêche les bactéries de s'accrocher,
- Mélangé au Copal Varnish ®, il pénètre très profondément dans le collagène de la dentine déminéralisée et **scelle les tubulis**,
- On ne peut pas parler de liaison adhésive (interactions moléculaires entre la dent et le Ciment), mais d'une **pseudo-adhésion** (interactions mécaniques par irrégularités de surface : micro-clavetage),
- Les ciments aux oxyphosphates de zinc additionnés de cuivre, de chez Hoffman, ont une action **antibactérienne**, de par la présence de cuivre mais aussi par leur pH faible. Ces ciments préparés sont caractérisés, comme ayant un pH très faible (3,5), qui monte rapidement pendant le séchage et augmente lentement après maturation (jusqu'à pH 5,4 dans les 24 heures). Les études actuelles montrent que la présence des S. mutans diminue de manière significative à pH 5,1. L'activité antibactérienne du ciment Hoffmann peut être due à son faible pH, dans la première minute, après le séchage. En résumé l'activité antimicrobienne du ciment Hoffman est très importante juste après le mélange et diminue considérablement après la prise. [27,83]
- Les tests in-vivo et in-vitro démontrent une désactivation du processus carieux, ne présentant aucune décoloration de la dent et le tout est hautement **biocompatible** [30]. Le pH est acide à la fin du malaxage. Il est donc recommandé de faire le malaxage sur une plaque de verre froide, ce qui permet de refroidir la phase exothermique qui se produit lorsque la poudre et le liquide sont combinés. Le pH tend rapidement vers la neutralité, ce qui permet d'expliquer la tolérance de ces ciments par les tissus dentaires.
- Les études in vitro montre que le Copperioncement® à la meilleure activité antibactérienne contre les Streptococcus mutans que le ciment verre ionomère particulièrement sur du long terme. [36]

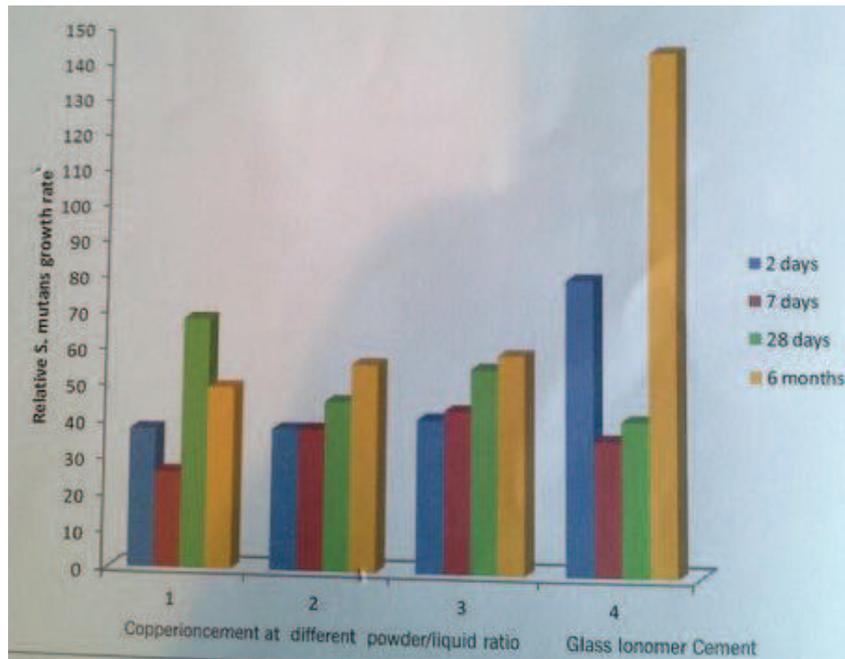


Figure 11 : Graphique montrant l'activité antibactérienne du Copperioncement® face au Ciment verre ionomère pendant 2, 7, 28 jours et 6 mois. [30]

2.7. Limites

Ce matériau ne peut-être utilisé lors de:

- Coiffage pulpaire direct
- Perforations
- Obturations à rétro
- Apexification

2.8. Mise en œuvre

2.8.1. Préparation du Copperioncement® & Copal Varnish®

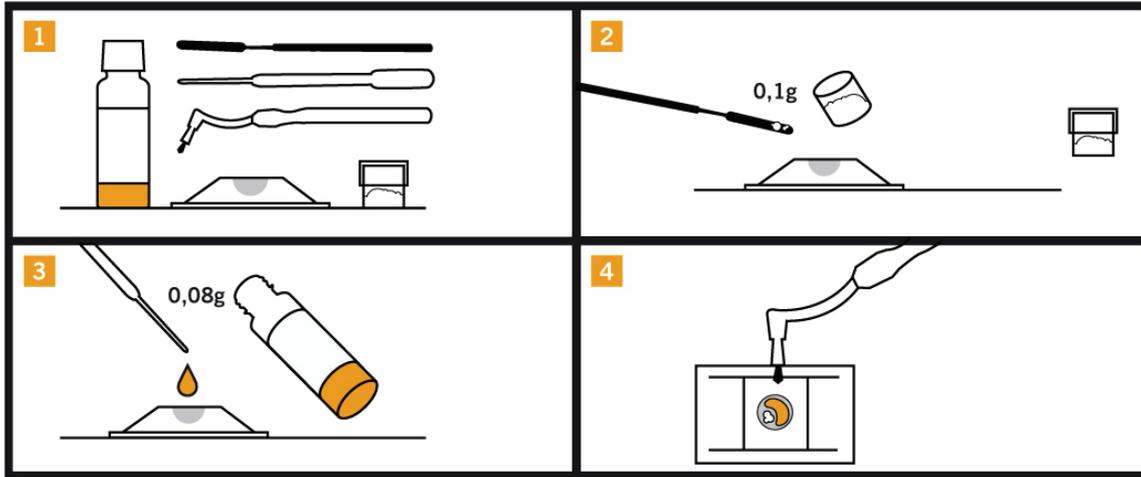


Figure 12: Illustration pour la préparation du Copal Varnish®.

1. Présentation du matériel : Flacon de Copal Varnish®, flacon de poudre, un pinceau, une spatule, une balance, une pipette et un support mélangeur,
2. Déposer 0,1g de poudre Copperioncement® à l'aide de la spatule, dans le support mélangeur,
3. Déposer 0,08g de vernis Copal Varnish® à l'aide d'une pipette, dans le support mélangeur,
4. Mélanger à l'aide du pinceau.

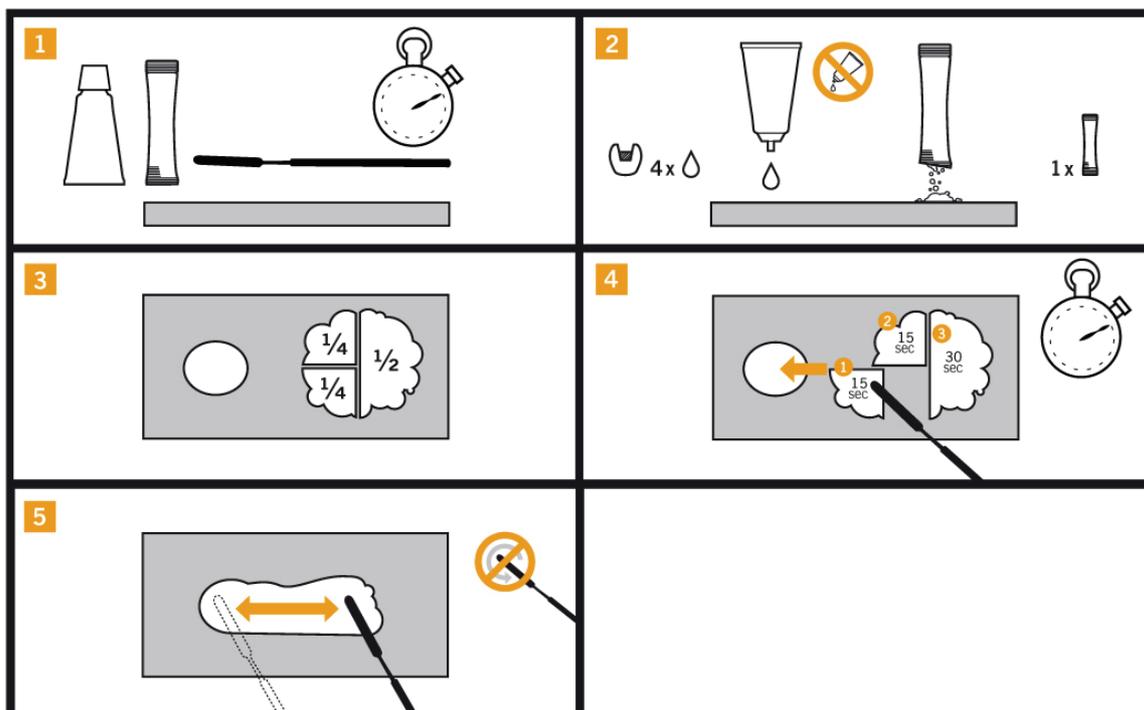


Figure 13 : Illustration pour la préparation du Copperioncement®.

1. Présentation du matériel : Une plaque en verre épaisse, froide, un chronomètre, l'acide orthophosphorique, un sachet de poudre Copperioncement®,
2. Pour une cavité de carie : déposer sur la plaque, d'une part 4 gouttes d'acide orthophosphorique et d'autre part un sachet entier de poudre Copperioncement®,
3. Séparer la poudre en 2 fois $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$,
4. Mélanger le premier quart à l'acide orthophosphorique en 15s, puis le deuxième quart en 15s et le reste en 30s,
5. Il ne faut pas remuer le mélange mais bien écraser le mélange sur la plaque de verre.

2.8.2. Protocole opératoire [99, 107, 50, 30]

Afin que cette technique soit efficace, la dent ne doit pas présenter de pathologie endodontique et être quasi **asymptomatique**. Après utilisation de cette technique d'obturation, que la plupart des dents vivantes ont pu être maintenues vitales, mais lorsque la dégénération pulpaire a commencé elle est souvent irréversible. On recommande, en cas de doute, de temporiser la réalisation de l'obturation définitive en laissant le ciment quelques semaines en place.

Il faut souligner que pour les lésions profondes, on laissera délibérément le toit carieux de la chambre pulpaire (dentine molle déminéralisée), pour éviter de traumatiser le nerf pulpaire et ainsi conserver la vitalité. Ce qui sous-entend la non utilisation d'anesthésie, pour pouvoir jauger de la vitalité pulpaire pendant l'acte opératoire.

Enfin, il est important de minimiser la coupe et la destruction de la structure dentaire avec, cependant, un accès visuel et tactile suffisant. [30] Une fois la carie débridée, le protocole opératoire décrit ici peut être réalisé.

1. Isoler la dent pour la protéger de l'humidité (coton salivaire, double aspiration, si possible mettre la digue),
2. Sécher la cavité à l'aide du jet d'air,
3. Appliquer dans la cavité, le Copal Varnish® (après avoir réalisé le mélange comme vu précédemment), à l'aide d'un pinceau ou d'une éponge. Sécher au jet d'air quelques secondes,
4. Répéter l'opération, jusqu'au moment où la saturation de la dentine permet d'observer à sa surface, un film brillant, après évaporation du solvant. Le nombre d'applications (en général 5) est déterminé par la porosité de la dentine à traiter et la légère brillance du film qui indique un degré de saturation satisfaisant. Après la dernière application, sécher au jet d'air,
5. Préparer une portion de ciment épais Copperioncement® (comme vu précédemment), et appliquer dans la cavité (éventuellement fouler à l'aide d'un brunissoir),
6. Laisser durcir complètement pendant 5 minutes,
7. Nettoyer les bords d'émail avec une fraise. Tailler dans la masse du ciment, la place nécessaire pour la restauration en composite ou autres.

Pour une obturation durable, il est souhaitable de restaurer définitivement la dent par des matériaux conventionnels type: composite, compomère, or et céramique. L'adhésion à l'émail n'est pas influencée par le ciment, il est conseillé de mettre l'acide et le bond sur toute la surface du ciment. On obtient ainsi une vraie obturation biomimétique capable de compenser efficacement les contraintes de polymérisation fortement réduite et uniquement au niveau de l'émail. [30]

3. Cas clinique

3.1. Cas clinique 1 : Illustration d'une dépose d'amalgame, avec mise en place du Copperioncement® et restauration définitive au composite du Dr Nicola Minotti.



(a)

(b)



(c)

- (a) Après examen clinique et radiographique, la 16 présente une reprise de carie sous amalgame. La dent ne présente aucun symptôme et le patient ne se plaint d'aucune douleur. L'amalgame est déposé sans anesthésie et le champ opératoire (digne, coin de bois, fil dentaire, aspiration et coton salivaire) est mis en place.
- (b) La dentine ramollie et déminéralisée est excavée, délicatement, avec une méthode mécanique conventionnelle.
- (c) Une matrice cercle la 16 et serrée avec un serre matrice et des coins de bois. Le Copal Varnish® est appliqué en 5 couches successives comme vu précédemment.



(d)

(e)

- (d) Le Copperioncement® (blanc) est préparé et mis en place en excès.
 (e) Taille du Copperioncement® pour une restauration au composite.



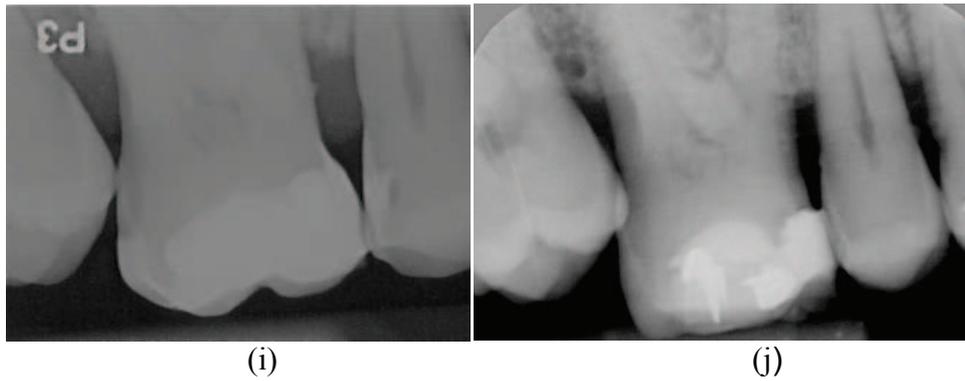
(f)



(g)

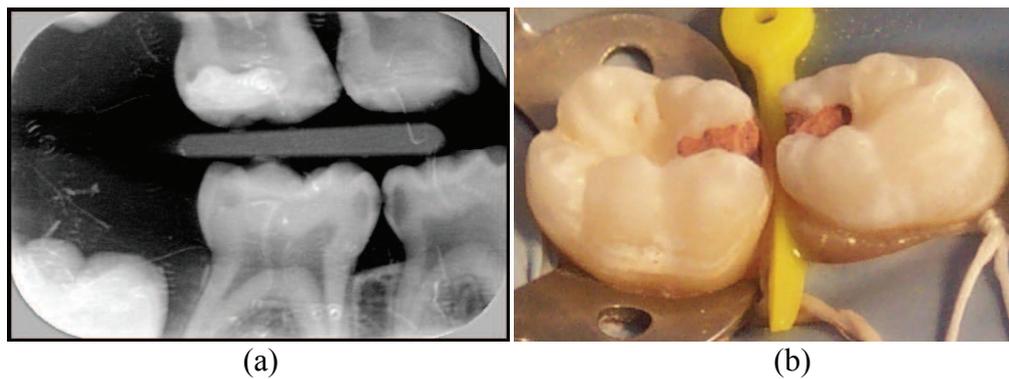
(h)

- (f) Mise en place de l'acide orthophosphorique. Rinçage et séchage. Mise en place de l'adhésif et polymérisation.
 (g) Restauration définitive au composite avec la méthode conventionnelle.
 (h) Taille, réglage de l'occlusion et polissage du composite.



- (i) Radiographie avant.
- (j) Radiographie après.

3.2.Cas Clinique 2 :Illustration de l'utilisation du Copperioncement® chez un enfant de 5 ans polycariée du Dr Nicola Minotti.



- a) Radiographie de carie en mésiale de la 85 et distal de 84. Le patient est âgé de 5 ans, polycariée, ne présente aucune douleur et les dents sont vivantes.
- b) Excavation des lésions carieuses 84,85, sans anesthésie. Mise en place du champs opératoire (digue, coin de bois, fil dentaire, crochet sur 85). Mise en place du Copperioncement® (rouge). Taille.Mise en place du composite.



(c)

(d)

- c) Radiographie à J-0
- d) Contrôle de la restauration à 5 mois. Légère transparence du composite mais pas d'infiltration.

4. Conclusion

Les nombreuses évolutions réalisées ces dernières décennies, tant au niveau des matériaux que des connaissances en cariologie, ont permis d'élargir l'éventail diagnostique et thérapeutique en odontologie conservatrice.

En effet, l'évolution des classifications des lésions carieuses, passant de Black au concept SiSta, a permis de mettre en place une nouvelle approche thérapeutique, respectant les concepts d'économie tissulaire: c'est la Dentisterie à minima. Cette technique met l'accent, d'une part, sur la prévention lors des caries débutantes et d'autre part, sur un traitement minimalement invasif, lors de lésions avancées.

L'évolution de l'instrumentation et des matériaux d'obturation a, également, permis d'envisager une meilleure préservation des tissus dentaires restants.

Ainsi, cette thèse a pour but de synthétiser les avantages et inconvénients des différents moyens de diagnostic, des différentes techniques d'instrumentations disponibles sur le marché, autant pour l'excavation carieuse que pour la préparation de la cavité et enfin de mettre en avant un matériau peu connu à ce jour : ce sont les ciments aux oxyphosphates additionnés de cuivre.

Ces derniers ont pour principal avantage d'être anti -bactérien, anti-viral et anti-microbien, de par les propriétés connues du cuivre. Ce matériau présente de nombreuses indications et est très efficace, s'il l'on respecte à la fois son protocole opératoire mais aussi ces contraintes liés au matériau lui-même. Il est simple et facile d'emploi et peut apporter un réel bénéfice chez les patients pusillamines, à condition que la dent ne présente aucune pathologie pulpaire.

5. Bibliographie

1. American Academy of Pediatric Dentistry. Policy on use of a caries-risk assessment tool (cat) for infants, children, and adolescents, in oral health policies. 2006. p.29-33.
2. Anceaux C. Les différents moyens de diagnostic des caries proximales. [Thèse pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire, Faculté de chirurgie dentaire]. Nancy: Université Henri Poincaré Nancy I. 2011.
3. Azrak B, Callaway A, Grundheber A, Stender E, Willershausen B. Comparison of the efficacy of chemomechanical caries removal (Carisolv™) with that of conventional excavation in reducing the cariogenic flora. *Int J Pediatr Dent.* 2004; 14: 182–191.
4. Babre P. Données actuelles sur l'instrumentation en micro dentisterie restauratrice. [Thèse pour Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire, Aix Marseille Université]. Marseille : Faculté d'Odontologie de Marseille. 2014.
5. Bader C, Krejci I. Indications and limitations of ER: YAG laser applications in dentistry. *AM J Dent.* 2006; 19(3): 178.
6. Bail G. Prise en charge des lésions carieuses initiales : proposition d'un protocole d'évaluation de la résine d'infiltration comme nouvelle approche thérapeutique. [Thèse de Doctorat d'Université, UFR d'Odontologie de Brest]. Bretagne : Université de Bretagne Occidentale. 2012.
7. Banerjee A. Stratégies invasives à minima de l'exérèse des tissus cariés. *Réalités Cliniques.* 2011; 22: 141–156.
8. Banerjee A, Watson TF. Air abrasion: its uses and abuses. *Dent Update.*2002; 29(7): 340-346.
9. Banerjee A, Kidd EA, Watson TF. Dentine caries excavation: a review of current clinical techniques. *Br Dent J.*2000; 188(9): 476-482.
10. Banerjee A, Thompson ID, Watson TF. Minimally invasive caries removal using bio-active glass air-abrasion. *J Dent.* 2011; 39(1): 2-7.
11. Banerjee A, Hajatdoost-Sani M, Farrell S, Thompson I. A clinical evaluation and comparison of bioactive glass and sodium bicarbonate air-polishing powders. *J Dent.* 2010; 38(6): 475-479.
12. Bratthall D, Petersson GH. Cariogram a multifactorial risk assessment model for a multifactorial disease. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2005; 33(4): 256- 264.
13. Bertrand MF, Semez G, Leforestier E, Muller-Bolla M, Nammour S, Rocca JP. ER; YAG laser cavity preparation and composite resin bonding with a single component adhesive system: Relationship between shear bond strength and microleakage. *Lasers Surg Med.* 2006; 38(6): 615-623.
14. Beunard V. Odontologie conservatrice micro-invasive. [Thèse pour le Diplôme d'état de Docteur en Chirurgie Dentaire]. Université de Nantes. 2005.
15. Black GV. A work on operative dentistry: The technical procedures in filling teeth. Chicago: Medico-Dental Publishing House. 1917; 25: 111–119.
16. Black RB. Air abrasive: Some fundamentals. *JADA.*1950; 41(6): 701-710.
17. Borkow G, Gabbay J. Copper, an Ancient Remedy Returning to Fight Microbial, Fungal and a Viral Infections. *Current Chemical Biology.*2009; 3: 272-278.
18. Borkow G, Gabbay J. Copper as a biocidal tool. *Curr Med Chem.* 2005; 12: 2163-2175.
19. Bussac G. L'air abrasion : technologie du troisième millénaire dans l'art dentaire. *European Dental Magazine.* 2000; 102: 34-37.
20. Bussadori SK, Castro LC, Galvao AC. Papain gel: a new chemo-mechanical caries removal agent. *J Clin Pediatr Dent.* 2006; 30(2): 115-119.

21. Calache H, Hopcraft MS, Martin JM. Minimum intervention dentistry – a new horizon in public oral health care. *Australian Dental Journal*. 2013; 58 Suppl 1: 17–25.
22. Chala S, Bouamara R, Abdallaoui F. Diagnostic methods of initial carious lesions. *Rev Odont Stomat*. 2004; 33: 297-310.
23. CISMef. (page consultée le 29/05/2015). Carie dentaire. [en ligne] <http://www.chu-rouen.fr/page/caries-dentaires>
24. Coluzzi DJ. Fundamentals of dental laser: science and instruments. *Dent Clin North Am*. 2004; 48(4): 751-770.
25. Copper Development Association. (page consulté le 28/05/2015). U.S. EPA Approves Registration of Antimicrobial Copper Alloys, [en ligne] http://www.copper.org/about/pressreleases/2008/pr-2008_Mar_25.html
26. Couderc G, Weisrock G, Terrer E, Ortet S, Charton S, Aubut V, Panayotov I, Alexa C, Tassery H, Levallois B. La sono-abrasion en odontologie restauratrice. *L'information dentaire*. 2011; 31 (4): 23-26.
27. Daugela P, Oziunas R, Zekonis G. Antibacterial potential of contemporary dental luting cements *Stomatologija. Baltic Dental and Maxillofacial J*. 2008; 10: 16-21.
28. Dechaume M, Huard P. Histoire illustrée de l'art dentaire .Paris : R. Dacosta. 1977; 9(257): 289-305, 591-615.
29. Decup F, Lasfargues JJ. Préparations et restaurations adhésives à minima. Apport des techniques sono-abrasives. *Réalités cliniques*. 2012; 3(23); 1-12.
30. Copalite. (page consultée le 3/09/2015). Doc's Best™, [en ligne]. http://www.copalite.com/DB_02.fr.pdf
31. Doméjean S, Léger S, Rechmann P, White JM, Featherstone JDB. How Do Dental Students Determine Patients' Caries Risk Level Using the Caries Management By Risk Assessment (CAMBRA) System? *J Dent Educ*. 2015; 79: 278-285.
32. Duque C, Da Silva RC, Dos Santos Pinto L. Treatment options for the occlusal surface of first permanent molars. *J Clin Pediatr Dent*. 2004; 29(1): 5-9.
33. Duran J. Apport de l'ozone dans la prise en charge des maladies parodontales. [Thèse pour Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire, Université Toulouse III]. Toulouse : Faculté d'Odontologie Paul Sabatier. 2014.
34. Featherstone, J.D., et al., Caries risk assessment in practice for age 6 through adult. *J Calif Dent Assoc*. 2007; 35(10): 703-7077, 710-713.
35. Flückiger L, Waltimo T, Stich H, Lussi A. Comparison of chemomechanical caries removal using Carisolv™ or conventional hand excavation in deciduous teeth in vitro. *J Dent*. 2005; 33(2): 87-90.
36. Foley J, Blackwell A. Ion release from copper cement on *Streptococcus mutans* growth in vitro: a comparative study. *Caries Res*. 2003; 4 (37): 403-406.
37. Fontana M, Zero Domenick T. Assessing patients' caries risk. *J Am Dent Assoc*. 2006; 137(9): 1231-1239.
38. Fouret P, Janot F, Monier A, Monier T. Pathologie et thérapeutique dans l'ancienne Egypte. *Actual Odonto-stomatol*. 1991; 176(36): 1-12.
39. Fouret P, Monier T et al. L'art dentaire chez les Etrusques. *Actual Odonto-Stomatol*. 1993; 183(37): 345-359.
40. Freedman G. A look at air abrasion systems. *Dent Today*. 2002; 21(6): 124-131.
41. Freitas M, Santos J, Fuks A, Bezerra A, Azevedo T. Minimal intervention dentistry procedures: a ten year retrospective study. *J Clin Pediatr Dent*. 2014; 39(1): 64-67.

42. Frencken JE, Peters MC, Manton DJ, Leal SC, Gordon VV, Eden E. Minimal Intervention Dentistry (MID) for managing dental caries – a review Report of a FDI task group. *Intern Dent J.* 2012; 62(5): 223–243.
43. Fure S, Lingstrom P. Evaluation of the chemomechanical removal of dentine caries in vivo with a new modified Carisolv gel. *Clin Oral Investig.* 2004; 8: 139–144.
44. Fuursted K, Hjort A, Kundsén L. Evaluation of bactericidal activity and lag of regrowth (postantibiotic effect) of five antiseptic on nine bacterial pathogens. *J Antimicrob Chemother.* 1997; 40(2): 221-226.
45. Girardin C. L'art dentaire dans l'Egypte pharaonique. [Thèse Doct. Etat.] Nancy. 1982, 4-157.
46. Godon C. Dentisterie opératoire. Baillière et fils. 1912: p-323
47. Goodis HE, Fried D, Gansky S, Rechman P, Feathersone JDB. Pulpal safety of 9.6µm TEA CO2 laser used for caries prevention. *Lasers Surg Med.* 2004; 35(2): 104-110.
48. Grisi DC; De Souza Salvador SL; Chiérici Marcantonio RA. Efficacy of Carisolv™ as an adjunctive therapy to scaling and root planning on subgingival calculus removal. *Braz Dent J.* 2006; 5(3): 132-136.
49. Guéders A, Geerts S. L'ozone: une alternative au traitement chirurgical de la carie? *Actual Dent Univ Liège* [Internet]. 2007 [cited 2014 Nov 12]; 37. Available from : <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/16898>
50. Harvard Dental International. (page consultée le 10/08/2015). Harvard Copal Varnish. [en ligne]. http://www.harvard-dental-international.eu/fileadmin/user_upload/Gebrauchsanweisungen/spanisch/Instrucciones_de_uso_Harvard_Copal_Varnish-V01.pdf
51. HAS. Appréciation du risque carieux et indications du scellement prophylactique des sillons des premières et deuxièmes molaires permanentes chez les sujets de moins de 18 ans. Novembre 2005.
52. Hayes M, Allen E, Da Mata C, McKenna G, Burke F. Minimal intervention dentistry and older patient's part 2: minimally invasive operative interventions. *Dent Update.* 2014; 41: 500–505.
53. Hazel JR, Williams EE. The role of alterations in membrane lipid composition in enabling physiological adaptation of organisms to their physical environment. *Prog Lipid Res.* 1990; 29: 167-227.
54. Hoffmann's Kupfer Cement : Ciment aux ions de Cuivre à effet bactéricide en vrac pour scellement et fond de cavité. <http://www.hoffmann-dental.com/?id=hr2p>.
55. Hoffmann's Ready2protect Copperioncement®. (page consultée en ligne le 9/10 /2015). Fiche de Données de sécurité (poudre). [en ligne]. http://www.hoffmann-dental.com/dokumente/SDB_hr2p_p.pdf
56. Hoffmann's Ready2protect Copperioncement®. (page consultée en ligne le 9/10 /2015). Fiche de Données de Sécurité (liquide). [en ligne]. http://www.hoffmann-dental.com/dokumente/SDB_hr2p.pdf.
57. Holmgren CJ, Roux D, Doméjean S. Minimal intervention dentistry: part 5. Atraumatic restorative treatment (ART)-a minimum intervention and minimally invasive approach for the management of dental caries. *Br Dent J.* 2013; 214(1): 11-18.
58. Horiguchi S, Yamada T, Inokoshi S, Tagami T. Selective caries removal with Air Abrasion. *Oper Dent.* 1998; 23: 236-243.
59. Horowitz HS. The 2001 CDC recommendations for using fluorides to prevent and control dental caries in the United States. *J Public Health Dent.* 2003; 63(1).

60. Houtmann C. Apport de l'Air Abrasion dans les concepts d'économie tissulaire en Odontologie Conservatrice. [Thèse pour le Diplôme d'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire, Faculté de Chirurgie Dentaire]. Nancy: Université Henri Poincaré Nancy I. 2005.
61. Hurlbutt M, Young DA. A best practices approach to caries management. *J Evid Based Dent Pract.* 2014; 14 Suppl: 77-86.
62. Jacquot B, Panighi M. Les verres ionomères modifiés par adjonction de résine et les composites modifiés par adjonction de verres ionomères. *J Biomater dent.* 1997; 2: 179-196.
63. Jingarwar MM, Bajwa NK, Pathak A. Minimal Intervention Dentistry – A New Frontier in Clinical Dentistry. *J Clin Diagn Res.* 2014; 8(7): ZE04–ZE08.
64. Johansson E, Claesson R, Van Dijken JWV. Antibacterial effect of ozone on cariogenic bacterial species. *J Dent.* 2009; 37(6): 449-453.
65. Kakaboura A, Masouras C. A comparative clinical study on the Carisolv caries removal method. *Quintessence international.* 2003; 34: 269–271.
66. Kabir R, Aeran H, Katre A, Kumar P. Chemomechanical caries removal: A clinical review. *Indian J Dent Sci.* 2013; 5(5): 130-133.
67. Kelsey WP, Panton MJ. A comparison of amalgam microleakage between a copal varnish and two resin-compatible cavity varnishes. *Dent Research. Quintessence International.* 2008; 12(19): 895-898.
68. Komet. (page consultée le 2/09/2015). Préparation coronaire : insert sonore. [en ligne]. http://www.kometdental.de/fileadmin/migrated/media/410506V1_PI_KF_Schallspitzen.pdf.
69. Konde S, Urs P, Raj S. Efficacy of Papacarie for caries removal: An in vivo study. *World Journal of Dentistry.* 2011; 2(3): 183-186.
70. Kotb RM, Abdella AA, El Kateb MA, Ahmed AM. Clinical evaluation of Papacarie in primary teeth. *J Clin Pediatr Dent.* 2009; 34(2): 117-23.
71. Kumar J, Nayak M, Prasad K L, Gupta N. A comparative study of the clinical efficiency of Chemo-mechanical caries removal using Carisolv and Papacarie - A papain gel. *Indian J Dent Res.* 2012; 23:697.
72. Lasfargues JJ, Kaleka R, Louis JJ. Le concept SiSta, un nouveau guide thérapeutique en cariologie. *Réal Clin.* 2000; 11: 103-122.
73. Lasfargues JJ, Bonte E, Goldberg M, Jonas P, Tassery H. Ciments verres ionomères et matériaux hybrides. *Encycl Med Chir.* 1998; 23(18): 1-16.
74. Lambrechts P, Mattar O, De Muncik J, Bergams L, Peumans M, Vanherle G, Van Meerbeek B. Air-abrasion enamel microsurgery to treat enamel white spot lesions of traumatic origin . *J Esth Resto Dent.* 2002; 3: 167-187.
75. Leforestier E, Bolla M, Muller M, Bertrand MF, Medioni E. Les ciments verres ionomères conventionnels. *J Biomater dent.* 2009; 2(2): 153- 163.
76. Lozano-Chourio M, Zambrano O, González H, Quero M. Clinical randomized controlled trial of chemomechanical caries removal (Carisolv™). *Int J Paediatr Dent.* 2006; 16(3): 161-7.
77. R Weiner. Liners and bases in general dentistry. *Austra Dent J.* 2011; 56: (1 Suppl): 11–22.
78. Mahler DB. The high-copper dental amalgam alloys. *J Dent Res.* 1997; 76: 537-541.
79. Maragakis GM, Hahn P, Hellwing E. Chemomechanical caries removal: a comprehensive review of the literature. *Int Dent J.* 2001; 51(4): 291-299
80. Mediteam. New Carisolv gel for faster treatment. [cited on 1999 Dec 4]. Available from:<http://www.mediteam.com/gelinst/pdf>. [last accessed on] 24th July 2015.
81. Meguenni A, Oulebsir MC. Gradient thérapeutique de la dent permanente immature. [Thèse Pour l'obtention du titre de Docteur en médecine dentaire]. Université d'Alger I. 2012-2013.
82. Mentouri A, Djerribi R, Tahar A, Sid R. Curetage dentinaire : Comparaison in vitro de l'efficacité de deux méthodes d'éviction de dentine infectée. *Sci Technol C.* 2013; (37): 42-48.

83. Michels HT, Noyce JO, Keevil CW. Effects of temperature and humidity on the efficacy of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* challenged antimicrobial materials containing silver and copper. *Letters in Applied Microbiology*. 2009; 49: 191–195.
84. Moore DS, Johnson WW, Kaplan I. A Comparison of Amalgam Microleakage with a 4-META Liner and Copal Varnish. *The International Journal of Prosthodontics*. 1995; 5(8): 461-466.
85. Motisuki C, Lima LM, Bronzi ES, Spolidorio DMP, Santos-Pinto L. The effectiveness of alumina powder on carious dentin removal. *Oper Dent*. 2006; 31(3): 371-376.
86. Motta LJ, Kalil Bussadori S, Campanelli AP, Luis da Silva A, Alfaya AT, Haddad Leal de Godoy C, Fidela de Lima Navarro M. Efficacy of Papacarie® in reduction of residual bacteria in deciduous teeth: a randomized, controlled clinical trial. *Clinics (Sao Paulo)*. 2014; 69(5): 319–322.
87. Mount GJ. A new classification and techniques for simple restorative dentistry. *Aust Coll Dent Surg*. 1998; 14: 94-98.
88. Mount GJ, Hume WR. A new cavity classification. *Aust Dent J*. 1998; 43(3): 153-159.
89. Naik SV, Shashikiran ND, Chaitra NL, Syed G. A microtensile bond strength evaluation of a single-bottle adhesive to caries-affected dentin in conventional versus minimal invasive caries removal techniques: An in-vitro study. *Indian J Dent*. 2014; 5(3): 127–131.
90. Nan L, Liu Y, Lu M, Yang K. Study on antibacterial mechanism of copper-bearing austenitic antibacterial stainless steel by atomic force microscopy. *J Mater Sci Mater Med*. 2008; 19: 3057-62.
91. Nancy J, Delbos Y. Carisolv® ou la dissolution chimique de la carie à la portée de tous enfin opérationnelle. *Rev Odont Stomat*. 2005; 34: 293-300.
92. Neuhaus K, Jeger F, Ciucchi P, Lussi A. Nouvelles méthodes de préparation et d'excavation. *Quintessence Internationale*. 2013; 4: 105-111.
93. Ogolnik R, Picard B. Les ciments de scellement : étude comparative. *J Biomater dent*. 1998; 13: 155- 172.
94. Ogolnik R, Picard B, Denry I. *Cahiers de Biomateriaux dentaires, cahier 1 : Matériaux minéraux, cahier 2 : Matériaux organiques*. Paris, Masson. 1992.
95. OMS. (page consulté le 29/05/2015). Santé bucco-dentaire Aide-mémoire N°318 Avril 2012. [en ligne] <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs318/fr/>.
96. Pai VS, Nadig RR, Jagadeesh TG, Usha G, Karthik J, Sridhara KS. Chemical analysis of dentin surfaces after Carisolv treatment. *J Conserv Dent*. 2009; 12(3): 118–122.
97. Pitel ML, The resurgence of Air Abrasion into restorative dentistry: part 1. *Dent Today*. 1998; 3: 62-66.
98. Pitel ML. The resurgence of Air Abrasion into restorative dentistry: part 2. *Dent Today*. 1998; 7: 70-77.
99. Produits dentaires SA. (page consultée le 4/08/2015). Directions for use. Copal Varnish protective dental varnish for the insulation of the exposed dentine. [en ligne]. http://www.vallexm.ru/files/Stomatology_PD/Copal_Varnish_11040.pdf
100. Rafique S, Fiske J, Banerjee A. Clinical trial of an air-abrasion/chemomechanical operative procedure for the restorative treatment of dental patients. *Caries Res*. 2003; 3(7): 360-364.
101. Rainey JT. Air abrasion: an emerging standard of care in conservative operative dentistry. *Dent Clin Nam*. 2002; 46: 185-209.
102. Raju HG. New trends in treatment of dental caries in outreach programme – Carisolv. *Annals and essence of Dentistry*. 2011; 3(1): 4-6.

103. Ramos-Gomez, FJ, et al., Caries risk assessment appropriate for the age 1 visit (infants and toddlers). *J Calif Dent Assoc.* 2007; 35(10): 687-702.
104. Rifkind JM, Shin YA, Hiem JM, Eichorn GL. Co-operative disordering of single stranded polynucleotides through copper crosslinking. *Biopolymers.* 2001; 15: 1879.
105. Ruiz-Miravet A, Montiel-Company JM, Almerich-Silla JM. Evaluation of caries risk in a young adult population. *Med Oral Patol Oral Cir Buccal.* 2007; 12: E412-E418.
106. Santos-Pinto L, Peruchi C, Marker VA, Cordeiro R Evaluation of cutting patterns produced with air-abrasion systems using different tip designs. *Oper Dent.* 2001; 26(3): 308-312.
107. Stardent. (page consultée le 7/7/2015). PRIME-DENT, Copal Plus, Cavity Varnish: Vernis de protection dentaire. [en ligne]
http://www.stardent.fr/attachments/057_PRIME%20DENT%20COPAL%20VERNIS.pdf.
108. Shils M, Shike M, Olson J, Ross AC. *Modern Nutrition in Health and Disease.* Lippincott Williams & Wilkins. 2005, 10ème édition.
109. Tassery H, Victor JL, Coudert G, Brouillet JL, Koubi S. *Dentisterie restauratrice à minima.* EMC (Elsevier SAS, Paris), Odontologie, 23-145-A-05, 2006.
110. Thneibat A, Fontana M, Cochran MA, et al. Anticariogenic and antibacterial properties of a copper varnish using an in vitro microbial caries model. *Oper Dent.* 2008; 33: 142-148.
111. Tonami K, Araki K, Mataka S, Kurosaki N. Effects of chloramines and sodium hypochlorite on carious dentin. *J Med Sci.* 2003; 50(2): 139-146.
112. Twetman S, Fontana M. Patient caries risk assessment. *Monogr Oral Sci.* 2009; 21: 91-101.
113. Valko M, Morris H, Cronin MT. Metals, toxicity and oxidative stress. *Curr Med Chem.* 2005; 12: 1161-208.
114. Vartika Kathuria V, Ankola AV, Hebbal M, Mocherla M. Carisolv- An Innovative Method of Caries Removal. *J Clin Diagn Res.* 2013; 7(12): 3111–3115.
115. Walsh LJ, Brostek AM. Minimum intervention dentistry principles and objectives. *Australian Dental Journal.* 2013; 58 Suppl 1: 3–16.
116. Weber DJ, Rutala WH. Disinfection, Sterilization and Preservation. 2001; 415-30.
117. Weisrock G, Terrer E, Couderc G, Koubi S, Levallois B, Manton D, Tassery H. Naturally aesthetic restorations and minimally invasive dentistry. *J Minim Interv Dent.* 2011; 4(2); 23-34.
118. Young DA, Featherstone JD, Roth JR. Curing the silent epidemic: caries management in the 21st century and beyond. *J Calif Dent Assoc.* 2007; 35(10): 681.

Site internet

119. <http://www.kaelux.com/fr/30-laser-erbium-yag>
120. http://www.alibaba.com/product-detail/PAPACARIE-DUO-1ML_179345888.html
121. <http://www.kavo.fr/Produits/Instrumentation/MICROdentisterie/RONDOflex-plus-360.aspx>
122. <http://www.sswhitedental.com/>
123. <http://www.nature.com/bdj/journal/v188/n3/full/4800420a.html>
124. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1698-69462007000500018
125. http://www.zm-online.de/markt/hoffmann-dental/produkte/Zement-mit-heilendem-Kupfer_109105.html

Annexe 1

Grille d'évaluation du risque carieux à partir de 6 ans jusqu'à l'âge adulte : CAMBRA [29].

Patient Name: _____ **CHART #:** _____ **DATE:** _____
Assessment Date: _____ **Is this (please circle) Baseline or Recall**

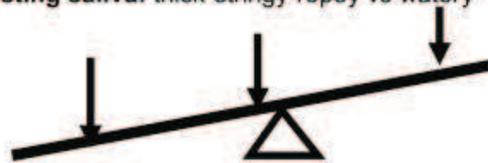
Disease Indicators (Any one YES signifies likely "High Risk" and to do a bacteria load test**)	YES = CIRCLE	YES = CIRCLE	YES = CIRCLE
New/Progressing visible cavitations or radiolucencies into dentin	YES		
New/Progressing approximal enamel Lesions by radiograph	YES		
New/Active White spots on smooth surfaces	YES		
Restoration for caries lesion in the last 3 years (only for initial CRA exam)	YES		
Risk Factors (Biological predisposing factors)			
MS and LB both medium or high (by culture or ATP bioluminescence **)		YES	
Visible heavy plaque on teeth		YES	
Frequent snack (> 3x daily between meals)		YES	
Deep pits and fissures		YES	
Recreational drug use		YES	
Inadequate saliva flow by observation or measurement (**If measured note the flow rate below)		YES	
Saliva reducing factors (medications/radiation/systemic)		YES	
Exposed roots		YES	
Orthodontic appliances		YES	
Protective Factors			
Lives/work/school fluoridated community			YES
Fluoride toothpaste at least once daily			YES
Fluoride toothpaste at least 2x daily			YES
Fluoride mouthrinse (0.05% NaF) daily			YES
5000 ppm F fluoride toothpaste daily			YES
Fluoride varnish in last 6 months			YES
Office F topical in last 6 months			YES
Chlorhexidine prescribed/used one week each of last 6 months			YES
Xylitol gum/lozenges 4x daily last 6 months			YES
Calcium and phosphate paste during last 6 months			YES
Adequate saliva flow (> 1 ml/min stimulated)			YES

** Biofilm Assessment: ATP bioluminescence: _____ or culture MS: _____ LB: _____

Stimulated Salivary Flow Rate: _____ ml/min. Stimulated pH _____ Date: _____

Resting Salivary Flow Rate: _____ ml/min. Resting pH _____ Date: _____

Buffering Capacity test: _____ Consistency of resting saliva: thick-stringy-ropy vs watery



VISUALIZE CARIES BALANCE

(Use circled indicators/factors above)

(EXTREME RISK = HIGH RISK + SEVERE SALIVARY GLAND HYPOFUNCTION)

CARIES RISK ASSESSMENT (CIRCLE): EXTREME HIGH MODERATE LOW

Doctor signature/#:

Date:

Annexe 2

Critères d'évaluation du risque carieux [29]

Caries Risk Level	S		A	F		E	R	
	Sealants	Saliva	Antibacterials	Fluoride (Topical)	Factors favorable for remineralization (pH, Ca ²⁺ & PO ₄ ³⁻)	Effective Lifestyle Habits	Radiographs	Recare Interval
Low Risk	Not indicated. (Optional for primary prevention of at risk deep pits and fissures)	Saliva testing is optional or may be done for purposes of baseline records.	Not indicated.	OTC fluoride toothpaste used b.i.d.	Recession or sensitive roots may indicate need for supplementation.	Encourage healthy dietary habits, low frequency of fermentable carbohydrates, adequate protein intake & effective oral hygiene practices using motivational interviewing techniques. Substitute xylitol for sucrose.	Every 24-36 months.	Every 6 months.
Moderate Risk	Sealants have been proven to be effective.	Measure resting and stimulated flow and pH, especially if hyposalivation is suspected.	Xylitol therapy at least 2-3 times/day for a total daily dose of 6-10 grams	OTC fluoride toothpaste used b.i.d. NaF rinse b.i.d. Varnish applied every 4 to 6 months	Low resting pH, low stimulated flow or pH may indicate need for supplementation.		Every 18-24 months.	Every 4-6 months.
High Risk		Objective measurement of acidogenic bacterial load via culturing or direct measurement of plaque ATP.	It must be understood the evidence is limited for antibacterials and pH neutralization with agents such as chlorhexidine, sodium hypochlorite, povidone iodine, and essential oils. If high levels of acidogenic bacteria are present, using such agents, per manufacturer's instructions, should be monitored closely. Retest bacterial load after initial treatment, discuss and motivate patient, and repeat as needed.	5000 ppm toothpaste used qd or b.i.d. NaF rinse b.i.d. Varnish applied every 3 to 4 months	Consider supplementing if topical fluoride alone is not effective.		Every 6-18 months.	Every 3-4 months.
Extreme Risk					Required if hyposalivation is present.		Every 6 months until no new caries lesions.	Every 3 months.

© Michelle Hurlbutt

Annexe des Figures

1. Exemple de diagramme du risque carieux individuel : Cariogram.....
2. Illustration de la seringue Carisolv®.....
3. Instruments « porte gel » et excavateur mousses spécifiques.....
4. Schéma de l'apport du gel, de l'excavation et de la cavité propre avec Carisolv®.....
5. Illustration d'une seringue de 1mL de Papacarie®.....
6. Fraises Smartprep de SSWhite®.....
7. Laser Er : YAG pulser de KAELUX.....
8. Le Rondoflex® plus 360 de KaVo.....
9. Illustration du Copperioncement®.....
10. Illustration du Copperioncement®, Copal Varnish® et l'acide orthophosphorique.....
11. Graphique montrant l'activité antibactérienne du Copperioncement® face au Ciment verre ionomère pendant 2, 7,28 jours et 6 mois.....
12. Illustration pour la préparation du Copal Varnish®.....
13. Illustration pour la préparation du Copperioncement®.....

Annexe des Tableaux

1. Critères d'évaluation du risque carieux.....
2. Moyens de diagnostic des lésions carieuses (1).....
3. Moyens de diagnostics des lésions carieuses (2).....
4. Guide de décision thérapeutique, en fonction du stade évolutif des lésions carieuses (Selon Lasfargues JJ et coll, 2000).....
5. Valeurs cliniques des principaux critères d'élimination de la dentine cariée.....
6. Avantages /Inconvénients du système Carisolv®.....
7. Avantages/Inconvénients de Papacarie®.....
8. Avantages/Inconvénients des microfraises.....
9. Avantages/Inconvénients des Fraises Smartprep de SSWhite®.....
10. Différents lasers utilisés en microdentisterie.....
11. Avantages/Inconvénients du Laser ER : YAG.....
12. Avanatages/Inconvénients de la sono et ultrasono-abrasion.....
13. Avantages/Inconvénients/Contre-indications de l'air abrasion.....
14. Comparatif général des différents moyens de préparation des cavités en odontologie conservatrice.....
15. Avantages/Inconvénients du Copal Varnish®.....