



HAL
open science

La dentisterie micro-invasive : techniques et intérêts

Anna Shkarpetina

► **To cite this version:**

Anna Shkarpetina. La dentisterie micro-invasive : techniques et intérêts. Sciences du Vivant [q-bio]. 2016. hal-01932238

HAL Id: hal-01932238

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01932238>

Submitted on 23 Nov 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

ACADÉMIE DE NANCY – METZ
UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE

Année 2016

N° 9128

THÈSE

pour le

DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE DENTAIRE

Par

Anna SHKARPETINA

Née le 7 mai 1988 à OUST-KAMENOGORSK (KAZAKHSTAN)

**La dentisterie micro-invasive :
techniques et intérêts**

Présentée et soutenue publiquement le

8 Juillet 2016

Examineurs de la thèse :

Pr J-M. MARTRETTE	Professeur des Universités	Président
<u>Dr É. MORTIER</u>	Maître de Conférences des Universités	Directeur
<u>Dr R. BALTHAZARD</u>	Maître de Conférences des Universités	Codirecteur
Dr M. VINCENT	Assistant hospitalo-universitaire	Juge

Président : Professeur Pierre MUTZENHARDT

Doyen : Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Vice-Doyens : Pr Pascal AMBROSINI — Dr Céline CLEMENT

Membres Honoraires : Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr M. VIVIER – Pr ARTIS -

Doyen Honoraire : Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

Professeur Emérite : Pr J.P. LOUIS

Maître de conférences CUM MERITO : Dr C. ARCHIEN

Sous-section 56-01 Odontologie pédiatrique	Mme Mme M. Mlle Mlle M.	<u>DROZ Dominique (Desprez)</u> JAGER Stéphanie PREVOST Jacques HERNANDEZ Magali LAUVRAY Alice MERCIER Thomas	Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante * Assistante Assistant *
Sous-section 56-02 Orthopédie Dento-Faciale	Mme M. Mlle Mlle	<u>FILLEUL Marie Pierryle</u> EGLOFF Benoit BLAISE Claire LACHAUX Marion	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Assistante Assistante
Sous-section 56-03 Prévention, Epidémiologie, Economie de la Santé, Odontologie légale	Mme M. Mme	<u>CLEMENT Céline</u> CAMELOT Frédéric LACZNY Emily	Maître de Conférences * Assistant * Assistante
Sous-section 57-01 Parodontologie	M. Mme M. M. Mlle Mlle	<u>AMBROSINI Pascal</u> BISSON Catherine JOSEPH David PENAUD Jacques BÓLÓNI Eszter PAOLI Nathalie	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistante Assistante *
Sous-section 57-02 Chirurgie Buccale, Pathologie et Thérapeutique Anesthésiologie et Réanimation	Mme M. Mlle M. Mlle M.	<u>GUILLET-THIBAUT Julie</u> BRAVETTI Pierre PHULPIN Bérengère DELAITRE Bruno KICHENBRAND Charlène MASCHINO François	Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistant Assistant Assistante * Assistant
Sous-section 57-03 Sciences Biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie)	M. M.	<u>YASUKAWA Kazutoyo</u> MARTRETTE Jean-Marc	Maître de Conférences * Professeur des Universités *
Sous-section 58-01 Odontologie Conservatrice, Endodontie	M. M. M. M. M. Mlle M.	<u>MORTIER Eric</u> AMORY Christophe BALTHAZARD Rémy ENGELS-DEUTSCH Marc BON Gautier MUNARO Perrine VINCENT Marin	Maître de Conférences * Maître de Conférences Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Assistante Assistant *
Sous-section 58-02 Prothèses (Prothèse conjointe, Prothèse adjointe partielle, Prothèse complète, Prothèse maxillo-faciale)	M. M. Mme Mme M. M. M. Mlle	<u>DE MARCH Pascal</u> SCHOUVER Jacques VAILLANT Anne-Sophie CORNE Pascale GILLET Marc HIRTZ Pierre KANNENGISSER François SIMON Doriane	Maître de Conférences Maître de Conférences Maître de Conférences * Assistante * Assistant Assistant * Assistant Assistante
Sous-section 58-03 Sciences Anatomiques et Physiologiques Occlusodontiques, Biomatériaux, Biophysique, Radiologie	Mme Mme M. M.	<u>STRAZIELLE Catherine</u> MOBY Vanessa (Stutzmann) SALOMON Jean-Pierre HARLE Guillaume	Professeur des Universités * Maître de Conférences * Maître de Conférences Assistant Associé

Souligné : responsable de la sous-section * temps plein

Mis à jour le 01.03.2016

*Par délibération en date du 11 décembre 1972,
la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que
les opinions émises dans les dissertations
qui lui seront présentées
doivent être considérées comme propres à
leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner
aucune approbation ni improbation.*

REMERCIEMENTS

À notre président de thèse,

Monsieur le Professeur Jean-Marc MARTRETTE

Docteur en Chirurgie Dentaire

Professeur des Universités-Praticien Hospitalier

Doyen de la Faculté d'Odontologie de Nancy

Chef de Service du CSERD de Nancy

Docteur en Sciences Pharmacologiques

Habilité à diriger des Recherches

Sous-section : Sciences biologiques (Biochimie, Immunologie, Histologie, Embryologie, Génétique, Anatomie pathologique, Bactériologie, Pharmacologie).

*Vous nous avez fait le très grand honneur
d'accepter la présidence de ce jury.*

*Veillez trouver dans ce travail
le témoignage de notre admiration et de notre profond respect.*

À notre juge et codirecteur de thèse,

Monsieur le Docteur Éric MORTIER

Docteur en Chirurgie Dentaire

Docteur en physique-chimie de la matière et des matériaux.

Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier

Sous-section : Odontologie Conservatrice et Endodontie.

*Nous apprécions l'honneur que vous nous faites en codirigeant
cette thèse.*

*Nous vous remercions pour votre sympathie et
vos conseils durant nos années d'étude.*

*Trouvez ici la marque de notre profonde reconnaissance et
de toute notre estime.*

À notre juge et codirecteur de thèse,

Monsieur le Docteur Rémy BALTHAZARD

Docteur en Chirurgie Dentaire

Maître de Conférences des Universités-Praticien Hospitalier

Sous-section : Odontologie Conservatrice et Endodontie.

*Vous nous avez fait le grand honneur d'accepter la
direction de cette thèse.*

*Nous vous sommes reconnaissants du soutien, de votre écoute et
de votre disponibilité tout au long de ce travail.*

*Qu'il vous soit témoigné notre profonde reconnaissance pour
votre savoir et pour toutes les connaissances que vous nous
avez enseignées.*

À notre juge,

Monsieur le Docteur Marin VINCENT

Docteur en Chirurgie Dentaire

Assistant Hospitalo-universitaire

Sous-section : Odontologie Conservatrice et Endodontie.

*Nous apprécions l'honneur que vous nous faites en participant
à notre jury de thèse.*

*Nous vous remercions pour votre disponibilité et pour vos
nombreux conseils cliniques.*

À **ma famille** : merci d'avoir fait de moi ce que je suis et ce que je ne suis pas.

À **Cécile** : merci pour toutes ces soirées arrosées et toutes les autres.

A **Lise** : nous ne sommes pas toujours d'accord, mais nous avons vécu de belles années. Nancy ne sera plus pareil sans toi. Amuse-toi bien !

À **David** : à force d'être obligés de se supporter pendant de longues heures de TP, on a fini par tisser des liens à toute épreuve ! Même si tu m'énerve des fois, je te kiffe mon poulet.

À **Pierre Formeryyyy** : tu n'es peut être pas le meilleur cuisinier, mais tu es un ami précieux. J'attendrai tes cartes avec impatience et il y aura toujours une place pour toi à Montbrisson !

À **Isa** : ma biche, ma quiche, ma blonde, tu me fais rire depuis le premier jour de sixième et à chacune de nos rencontres je redeviens une dinde. Je regrette juste que ces rencontres ne soient pas plus nombreuses. Je t'aime, c'est tout.

A **Aurélié** : le chemin a été rude quelques fois (surtout pour toi), mais tu auras toujours une place dans mon cœur et dans ma vie.

A **Julian** : merci pour cette année de coloc' et pur toutes les autres. Je lève ma coupe aux pikachus, aux échouages de baleine et à nos Pim's chocolat-chocolat !! Je te souhaite que du bonheur pour ta vie de FUTUR médecin et pour ta vie perso.

À **Martin** : mon très pas cher, nos discussions me manquent. Merci pour toutes ses heures de cours passées en ta compagnie. J'espère te voir plus souvent.

A **Charline** : vive Argenton-sur-Creuse et les Spritz et un peu les footing (mais pas trop quand même) !!

A **Kévin** : le petit chauve barbu et joufflu, merci de me faire sentir un peu moins folle sur la question des oreilles.

À **mes binomettes** : **Léa, Cécile et Camille** : on a bien travaillé les filles !!! Je suis fière que vous soyez devenues docteur avant moi !

À **mes binhommes** : **Trutti Frutti, Arnaud, Clément.**

A **Mathilde et Lionel** : merci pour votre sympathie dans cette contrée si lointaine.

À **César** et son chat trop mignon qui fait des trucs de chat trop mignon.

À Marie « Sarcasm », Marion V., Marion S., Marianne, Belqis, Thomas, Marie Dubar, Jonathan, PH et tant d'autres que j'oublie.

À **Paul** : le meilleur pour la fin. Si j'ai mis autant de temps pour faire ma thèse, c'est uniquement pour te prouver que je ne suis pas une polarde. Si si. Merci de m'avoir encouragée par tes « va bosser !! » et de m'avoir supportée pendant ces derniers mois si éprouvants. Le meilleur est devant nous ! Je t'aime, mon choufieur.

Liste des abréviations

CPD : complexe pulpo-dentinaire

CVI : ciment verre-ionomère

DiFOTI : transillumination par fibre optique avec image digitale

FACE : *fluorescence aided caries excavation*

FOTI : transillumination par fibre optique

HA : hydroxyapatite

HAS : haute autorité de santé

ICDAS : *International Caries Detection And Assessment System*

JAC : jonction amélo-cémentaire

JAD : jonction amélo-dentinaire

MEB : microscopie électronique à balayage

MEC : matrice extra-cellulaire

MIH : *molars and incisors hypomineralization*

OCT : *optical coherence tomography*

PEA : pellicule exogène acquise

ppm : parties par million

QLF : *quantitative light-induced fluorescence*

RCI : risque carieux individuel

TMI : technique micro-invasive

Sommaire

Table des figures

Table des tableaux

Introduction

1 Rappels

1.1 Structure dentaire

1.2 La carie

2 Techniques de diagnostic récentes

2.1 Radiographie numérique

2.2 Techniques de transillumination

2.3 Techniques de fluorescence

2.4 Courant électrique

2.5 Tomographie en cohérence optique

2.6 Détecteurs de carie

3 Techniques opératoires

3.1 Prévention

3.2 Techniques opératoires sans préparation cavitaire

3.3 Techniques opératoires avec préparation cavitaire

Conclusion

Références bibliographiques

Tables de matières

Liste des figures

Figure 1 : dent en coupe sagittale (d'après Henry Gray, 1918)	22
Figure 2 : représentation schématique de l'empilement des cristaux d'hydroxyapatite au sein des prismes de l'émail (d'après Lasfargues et Colon, 2009)	24
Figure 3 : prismes d'émail en coupe transversale en MEB ; cristaux d'hydroxyapatite (1) interprismatiques (2) prismatiques (d'après Leloup, 2007)	24
Figure 4 : organisation de l'orthodentine coronaire en dentine primaire (DP) et dentine secondaire (DS) entre les jonctions amélo-dentinaire (JAD) et dentino-pulpaire (JDP). Aux deux extrémités de la dentine circum-pulpaire, la présence du manteau dentinaire (MD) et de la méta-dentine (md)	26
Figure 5 : représentation schématique de la structure de la dentine circum-pulpaire	26
Figure 6 : les deux types de dentine tertiaire (d'après Simon et coll., 2008)	27
Figure 7 : schéma de la trilogie de Keyes modifiée (d'après Newbrun, 1978)	31
Figure 8 : courbe de Stephan (d'après Mouton et Robert, 1994)	36
Figure 9: schématisation des mécanismes de déminéralisation et reminéralisation (d'après Selwitz et coll., 2007)	37
Figure 10 : figuration des différentes couches de la carie et les réactions pulpodentaires sous-jacentes (d'après Lasfargues et Colon, 2009)	39
Figure 11 : « iceberg » de la carie et importance des systèmes de détection carieuse (d'après Pretty, 2007)	41
Figure 12: efficacité des techniques de détection traditionnelles sur des lésions de gravité différente (d'après Bader et coll., 2001)	44
Figure 13 : efficacité des techniques de détection traditionnelles sur des lésions limitées à l'émail (d'après Bader et coll., 2001)	44
Figure 14 : comparaison entre radiographie numérique normale et amélioré : (a) radiographie numérique (b) cliché amélioré, les lésions proximales au niveau de la 45 et 46 sont visibles plus nettement	46
Figure 15 : radiographie soustractive (a) lésion mésiale au niveau de la première molaire (b) même dent à J+12 mois (c) la différence entre les deux clichés apparaît en noir : il y a progression de la lésion carieuse	46
Figure 16 : équipement FOTI (d'après Pretty, 2006)	47

Figure 17 : exemple d'images avec FOTI (a) absence de lésions carieuses (b, c, d, e) les ombres noires au niveau des faces occlusales représentent les lésions carieuses (d'après Gomez, 2015).....	48
Figure 18 : lésion proximale vue avec le système DIFOTI (d'après Jensen et Faller, 2010) ..	49
Figure 19 : équipement QLF, The Inspektor™ Pro QLF (d'après Jensen et Faller, 2010)	51
Figure 20 : images obtenues en QLF : (a) absence de lésion (b, c, d, e) les zones sombres indiquent les lésions carieuses (d'après Gomez, 2015).....	51
Figure 21 : exemple de fluorescence rouge en QLF (a) cavité occlusale (b) la fluorescence rouge révèle la présence de porphyrines et donc de dentine infectée (d'après Waller et coll., 2012).....	52
Figure 22 : suivi dans le temps de la reminéralisation d'une lésion blanche « white spot » (d'après Jensen et Faller, 2010).....	53
Figure 23 : SIROInspect de Sirona (d'après Tassery et coll., 2013).....	54
Figure 24 : fluorescence rouge au niveau de la dentine infectée, visualisée avec le système FACE (d'après Tassery et coll., 2013).....	55
Figure 25 : pièce à main SoproLife® (d'après Tassery et coll., 2008)	56
Figure 26 : schéma décisionnel pour les faces occlusales avec la caméra SoproLife® ; TMI1 : techniques micro-invasives de type 1 (sans préparation cavitaire) ; TMI2 : techniques micro-invasives de type 2 (avec préparation cavitaire)	59
Figure 27 : schéma décisionnel pour les faces proximales avec la caméra SoproLife®	60
Figure 28 : la même cavité observée avec a) SOPROLIFE en mode « traitement » b) SOPROCARE en mode « carie » (d'après Tassery et coll., 2013).....	61
Figure 29 : image de la face occlusale d'une molaire et son image correspondante visualisée avec VistaProof®. Les numéros indiquent la profondeur et l'étendue de la lésion (d'après Jablonski-Momeni, 2011).....	63
Figure 30 : image d'une carie occlusale avec ses scores respectifs (d'après Tassery et coll., 2013).....	64
Figure 31:lésions carieuses sur première et deuxième prémolaires. (a) vue occlusale avant le traitement chirurgical. Des ombres indiquant la présence de carie sont observées (flèches blanches). (b) vue occlusale pendant la préparation : présence de lésions profondes avec une dentine infectée. (c) coupe en OCT le long de la ligne rouge sur l'image (a) avant la préparation. La zone brillante (flèches bleues) indique une diffusion de la lumière augmentée	

au niveau des tissus déminéralisés et poreux. Les flèches rouges indiquent la lésion carieuse (d'après Shimada et coll., 2015).....	70
Figure 32:technique de brossage BROS (d'après UFSBD, 2013)	72
Figure 33 : technique FIL pour passer le fil dentaire (d'après UFSBD, 2013).....	73
Figure 34 : architecture moléculaire de l'ozone (d'après Duran, 2014)	75
Figure 35 : unité de HealOzone X4 (d'après http://www.coburgdentalgroup.com.au/healozone/)	75
Figure 36 : cupule à usage unique à positionner intimement sur les tissus à traiter (ici la face occlusale de la 16) (d'après Tassery et coll., 2006)	76
Figure 37 : pourcentage d'élimination de S. mutans, L. casei et A. naeslundii après une application d'Ozone de 10, 30 et 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009)	77
Figure 38 : pourcentage d'élimination de S. mutans dans une solution tampon (en gris) ou dans la salive (en blanc) après une application de 10, 30 ou 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009).....	77
Figure 39 : pourcentage d'élimination de L. casei dans une solution tampon (en gris) ou dans la salive (en blanc) après une application de 10, 30 ou 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009).....	77
Figure 40 : kit proximal d'infiltration Icon® (d'après le site internet www.aplipratca.pt)	82
Figure 41 : seringue avec embout pour les faces lisses (d'après la Fiche Produit Icon®).....	82
Figure 42 : seringue avec embout pour les faces proximales (d'après la Fiche Produit Icon®)	83
Figure 43 : mise en place de la digue à distance du site à traiter : ici la face distale de la 35 et mésiale de la 36 (photographie du service d'odontologie de Brest)	84
Figure 44 : mordantage à l'acide chlorhydrique à 15% (photographie du service d'odontologie de Brest).....	85
Figure 45 : séchage à l'aide de l'Icon®-Dry (photographie du service d'odontologie de Brest)	85
Figure 46 : infiltration de la lésion à l'aide de l'Icon®-Infiltrant	86
Figure 47 : photopolymérisation (Photographie du service d'odontologie de Brest)	86
Figure 48 : représentation des stades de classification ICDAS et radiographique et leur correspondance, ainsi que les mesures thérapeutiques nécessaires (d'après Phark et coll., 2009).....	87

Figure 49 : infiltration d'une lésion cavitaire a) situation initiale b) après l'infiltration : la résine n'a pas rempli la petite cavité (d'après Lasfargues et coll., 2013)	87
Figure 50 : infiltration de lésions non cavitaires de type white spot sur 11 et 21	88
Figure 51 : infiltration d'une lésion de déminéralisation suite au port de braquets orthodontiques sur la 22	88
Figure 52 : représentation schématique de l'émission stimulée (d'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser)	89
Figure 53 : représentation schématique d'un laser : 1) milieu actif 2) source de pompage 3) miroir réfléchissant à 100% 4) miroir semi-réfléchissant 5) faisceau laser (d'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser)	90
Figure 54 : les 7 principaux effets des lasers sur les tissus vivants (d'après http://www.laser-dentaire.fr/http-laser-dentaire-e-monsite-com-/interaction-laser-et-le-tissus-vivant.html)	91
Figure 55 : le laser Key III de KaVo (d'après www.infowebdental.com)	92
Figure 56 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x125 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser Er:YAG (x125 et x1000), la surface occlusale ne montre pas de signes d'altérations causées par l'irradiation au laser, une déminéralisation de la couche superficielle peut être observée (d'après Correra-Afonso et coll., 2012)	93
Figure 57 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x63 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser Nd:YAG (x63 et x1000), la surface occlusale ne montre pas de signes d'altérations causées par l'irradiation au laser, une déminéralisation de la couche superficielle peut être observée (d'après Correra-Afonso et coll., 2012)	94
Figure 58 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x125 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser CO ₂ (x125 et x1000), observations de fissures sans fusion des tissus, il n'y a pas de signes de déminéralisation (d'après Correra-Afonso et coll., 2012).....	94
Figure 59 : observation en MEB de a) surface irradiée avec laser Er,Cr:YSSG à 8,5 J/cm ² (x1000), l'exposition des cristaux d'hydroxyapatite est bien visible ;b à d) surface irradiée au laser à 8,5 J/cm ² suivie d'une application d'APF ; b) rétention des globules de fluorure de	

calcium dans les anfractuosités laissées par le laser (x1000) ; c) vue en coupe (x2000) les globules sont indiqués par des flèches ; d) à un plus fort grossissement (x5000) on peut voir la haute concentration en fluorures (d'après Ana et coll., 2012)	96
Figure 60 : exemple d'excavateurs de deux tailles différentes. La taille de l'instrument doit être adaptée à la taille de la cavité (d'après Holmgren et coll., 2013)	98
Figure 61 : image en MEB de la surface dentinaire après éviction carieuse manuelle (a) grossissement x200, la surface apparaît rugueuse avec quelques tubuli ouverts (b) grossissement x1000, forte présence de boue dentinaire (d'après Banerjee et coll., 2000).....	98
Figure 62 : coffret de fraises 4337F à granulométrie fine (le coffret 4337 a une granulométrie standard) ; les fraises 889M / 838M / 830RM sont adaptées à la préparation de caries des puits et sillons ; les fraises 953M / 953AM possèdent une forme elliptique pour réaliser des préparations en forme d'ampoule ; les fraises 830M / 953M / 953AM permettent de réaliser des préparations arrondies lors des caries en faces proximales	99
Figure 63 : différentes tailles des fraises boules en carbure de tungstène (d'après www.athenadental.fr)	100
Figure 64 : image en MEB de la surface de la dentine affectée après éviction carieuse à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène (grossissement x 2000) (d'après Karaarslan et coll., 2012).....	100
Figure 65 : fraises céramiques Cerabur de différents diamètres : de gauche à droite 010, 014, 018 et 023	101
Figure 66 : (a) image en MEB d'une fraise céramique CeraBur (grossissement x40, ISO 018) (b) image en MEB d'une fraise en carbure de tungstène (grossissement x40, ISO 018) (d'après Dammaschke et coll., 2008).....	101
Figure 67 : images en MEB d'une fraise SmartPrep au grossissement x40 (a) avant et (b) après utilisation : l'usure de la fraise est évidente (d'après Dammaschke, 2006)	103
Figure 68 : coupes de cavités préparées à l'aide de (1) fraise en polymères : la présence de bactéries est indiquée par la flèche (2a) Carisolv® (2b) Papacarie® : peu ou pas de bactéries visibles.....	104
Figure 69 : exemples d'appareils Caridex® (d'après Nancy et Delbos, 2005).....	105
Figure 70 : seringue multimix de Carisolv® et ses instruments manuels (d'après www.ijds.in)	106
Figure 71 : les différents excavateurs manuels développés spécifiquement pour une utilisation avec le gel Carisolv®	106

Figure 72 : image en MEB de la surface d'une cavité préparée à l'aide du gel Carisolv®, les tubuli dentinaires ouverts sont facilement visibles (x1000) (d'après Banerjee et coll., 2000b)	108
Figure 73 : excavateur expérimental en polymère conçu pour une utilisation en synergie avec le gel SFC-VIII® (a) avant utilisation et (b) après utilisation (d'après Neves et coll., 2011a)	109
Figure 74 : images en MEB des surfaces dentinaires après curetages chimio-mécanique et enzymatique.	110
Figure 75 : image en MEB de la surface dentaire traitée par sono-abrasion (a) grossissement x200, marques de passage des instruments et boue dentinaire visibles (b) grossissement x1000, micro-craquelures visibles.	115
Figure 76 : (a) vue pré-opératoire d'une molaire avec lésion carieuse au niveau de la fosse distale (b) insert boule diamanté en action (d'après Decup et Lasfargues, 2014)	116
Figure 77 : cliché bite-wing des lésions de site 2 sur la 26 (d'après Tassery et coll., 2006).	116
Figure 78 : insert sonique ou ultrasonique en cours de préparation d'une cavité « tunnel ».	117
Figure 79 : bite-wing de contrôle (d'après Tassery et coll., 2006)	117
Figure 80 : préparation « en entonnoir » en mésial de la 25 et en distal de la 24 ; préparation « goutte » en distal de la 25 (d'après Tassery et coll., 2006)	117
Figure 81 : préparation « goutte » en distal d'une deuxième prémolaire à l'aide d'un insert demi-boule diamanté (d'après Decup et Lasfargues, 2014).	118
Figure 82 : préparation sonique d'une lésion difficile d'accès (a) radiographie pré-opératoire d'une lésion radiculaire distale sur la 35(b) accès vestibulaire réalisé grâce à un insert demi-boule SONICflex® micro 33	118
Figure 83 : (1) lésion de site 1 stade 0/1 (2) préparation par aéro-abrasion de la lésion occlusale (a, b).	120
Figure 84 : image en MEB de la surface dentinaire traitée par aéro-abrasion (a) grossissement x200 ; (b) grossissement x1000 ; des petites particules (P) sont visibles, les tubuli dentinaires sont oblitérés	121
Figure 85 : illustration de la différence d'action entre la poudre d'alumine et la poudre de verres bioactifs sur les différents tissus dentaires (d'après Banerjee et coll., 2011).	122
Figure 86 : analyse au microscope de la subsurface de la dentine déminéralisée (x40). Après éviction carieuse, de la dentine déminéralisée est visible dans les trois cas (d'après Torres Toro et coll., 2013).	124

Figure 87 : a) coupe d'une dent non traitée, obtenue grâce à la micro-tomographie assistée par ordinateur ou micro-computed tomography (micro-CT), avec lésions carieuses multiples. b) cette même coupe colorée afin d'augmenter la visualisation des limites des lésions carieuses : en vert la dentine saine, en orange l'émail sain et en bleu la dentine infectée (d'après Schwass et coll., 2013).....	124
Figure 88 : a) image en micro-CT d'une dent avec lésion carieuse atteignant la dentine et en b) traitée grâce au laser Key III avec une valeur seuil de 6. Toute la dentine infectée a été éliminée car il ya absence de coloration bleue. À noter, qu'une partie de l'émail sain a été supprimée pour permettre un accès plus aisé à la lésion carieuse (d'après Schwass et coll., 2013).....	125
Figure 89 : comparaison du potentiel de conservation des différentes techniques d'excavation carieuse : plus la valeur se rapproche de 1 et plus la technique est conservatrice. Pour le laser Er:YAG +LIF la valeur avoisine le 50 (d'après Neves et coll., 2011b).....	125
Figure 90 : la subsurface dentinaire analysée au microscope (x40). Le produit de traçage (jaune) pénètre plus en profondeur au niveau de la dent traitée par le laser témoignant d'une perméabilité plus importante de la dentine (d'après Torres Toro et coll., 2013).....	126
Figure 91 : image en MEB de la surface de la dentine affectée après utilisation de laser Er:YAG : les tubuli dentinaires sont ouverts et il y a absence de boue dentinaire (grossissement x40).....	126
Figure 92 : force d'adhésion des différents adhésifs en fonction de la technique d'éviction carieuse : Adper Single Bond 2 = M&R 2 ; Clearfil SE Bond SAM 2et le G-Bond = SAM 1	127

Liste des tableaux

Tableau 1: compositions comparées des tissus minéralisés (valeurs moyennes en %)	28
Tableau 2 : Potentiel cariogène des différentes bactéries en fonction des sites carieux (d'après Lasfargues et Colon, 2009)	33
<i>Tableau 3 : évaluation du risque carieux (d'après Jingarwar et coll., 2014)</i>	<i>40</i>
Tableau 4: classification ICDAS II (d'après Ismail et coll., 2005).....	42
Tableau 5 : classification radiologique de Marthaler et Germann (d'après Bail, 2012)	42
Tableau 6 : classification radiologique de Hintze et coll. (d'après Bail, 2012)	42
Tableau 7 : sites de la classification SiSta (d'après Lasfargues et Colon, 2009).....	43
Tableau 8 : les stades de la classification SiSta (d'après Lasfargues et Colon, 2009).....	43
Tableau 9 : avantages et inconvénients de la radiographie numérique	47
Tableau 10 : avantages et inconvénients du système FOTI	48
Tableau 11 : avantages et inconvénients du système DIFOTI	49
Tableau 12 : avantages et inconvénients du système QLF	53
<i>Tableau 13 : avantages et inconvénients du système FACE</i>	<i>55</i>
Tableau 14: guide clinique de la couleur des tissus dentaires visualisés à l'aide de SOPROLife® (d'après le Livret clinique de SOPROLife® et Tassery et coll., 2013).....	57
Tableau 15 : les différents stades du développement carieux, correspondance entre les critères ICDAS II et SOPROLife® en mode « daylight » et en mode « diagnostic » au niveau des surfaces occlusales	58
Tableau 16 : avantages et inconvénients du système SOPROLIFE®	61
Tableau 17 : valeurs « seuil » indiquées par le fabricant (modifié d'après la notice de montage et d'utilisation de VistaProof®, Dürr Dental et Achilleos et coll., 2013).....	62
Tableau 18: avantages et inconvénients de VistaProof®	63
Tableau 19 : échelle d'interprétation des valeurs obtenues avec DIAGNODent Pen et leurs recommandations thérapeutiques (modifié d'après le mode d'emploi DIAGNODent Pen)	65
Tableau 20 : valeurs "seuil" pour les faces occlusales et les faces proximales d'après des études in vitro* et in vivo° (d'après Lussi et Hellwig, 2006 ; Huth et coll., 2008 et 2010)	65
Tableau 21: avantages et inconvénients du DIADNODent et du DIAGNODent Pen	66
Tableau 22 : avantages et inconvénients du système Canary®	67
Tableau 23 : principaux avantages des différents systèmes de diagnostic (d'après Tassery et coll., 2013).....	71
Tableau 24 : les principaux types de lasers utilisés en dentisterie (d'après Tolila, 2008)	91

Tableau 25 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide d'une fraise en céramique	102
Tableau 26 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de fraises en polymères	104
Tableau 27 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de Carisolv®.....	108
Tableau 28 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide du gel Papacarie®...	111
Tableau 29 : classification des sons en fonction de la fréquence (d'après Decup et Lasfargues, 2014).....	112
Tableau 30 : les différents inserts ultrasoniques du système EMS et leurs applications	113
Tableau 31 : récapitulatif des différents inserts soniques SONICflex® utilisés pour la préparation à minima.....	114
Tableau 32 : avantages et inconvénients des systèmes sonique et ultrasonique pour l'éviction carieuse.....	119
Tableau 33 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de l'aéro-abrasion ..	123
Tableau 34 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse au laser Er:YAG.....	127

Introduction

La dentisterie micro-invasive regroupe un ensemble de techniques opératoires ayant comme dénominateur commun l'économie tissulaire. La pierre angulaire de cette préservation repose sur la reminéralisation des lésions précoces, la réduction de la charge bactérienne, une exérèse chirurgicale *a minima* des tissus lésés, la réparation plutôt qu'un remplacement des restaurations défectueuses ainsi que le contrôle du risque carieux (Yap, 2012). Une meilleure connaissance du processus carieux associée à l'utilisation des nouveaux outils s'avère indispensable afin d'améliorer le diagnostic et minimiser les formes de préparation.

La sensibilité, la spécificité et la reproductibilité des techniques de diagnostic fondées sur l'observation (sondage, radiographie) sont limitées. Cependant, il est primordial de diagnostiquer la lésion carieuse à un stade précoce pour interrompre son processus avant la formation d'une cavité. Les nouveaux outils de diagnostic doivent permettre la détection des lésions carieuses à un stade précoce, lorsque la carie ne dépasse pas le tiers dentinaire externe (stade 0 et 1 de la classification SiSta), mais aussi informer de l'activité carieuse et de la vitesse de progression.

L'avènement des matériaux de restauration adhésifs a permis une économie tissulaire importante en évitant les délabrements inutiles générés par les concepts mécaniques liés à l'utilisation d'amalgame. Les nouveaux outils de préparation tissulaire doivent permettre une intervention chirurgicale minimale en conservant, autant que possible, les structures fonctionnelles de la dent, telles que les crêtes marginales, mais également une éviction sélective de la dentine infectée sans léser la couche de dentine affectée, susceptible d'être reminéralisée.

Nous proposons, après une rapide présentation de la structure dentaire et du développement carieux d'aborder les techniques de diagnostic récentes. Ces dernières rassemblent les techniques de radiographie numérique, de transillumination, de fluorescence, ainsi que les techniques utilisant le courant électrique, la tomographie en cohérence optique et les colorants détecteurs de carie. Dans notre dernière partie les techniques opératoires qu'elles soient préventives, avec préparation cavitaire (éviction carieuse manuelle, systèmes mécaniques rotatifs, systèmes chimio-mécaniques et enzymatiques, éviction sonore et ultrasonique, aéro-abrasion et lasers) ou sans préparation cavitaires (ozonothérapie, reminéralisation, scellement, érosion/infiltration et laser) sont décrites.

1 RAPPELS

1.1 Structure dentaire

L'organe dentaire est constitué de l'odonte et du parodonte. Le premier représente la dent à proprement parler et est composé de tissus minéralisés (émail et dentine) et d'un tissu organique, formé par le tissu pulpaire. Le parodonte, quant à lui, inclut l'os alvéolaire, la gencive, le ligament alvéolo-dentaire et le cément, bien que celui-ci soit indissociable de la racine de la dent (Figure 1).

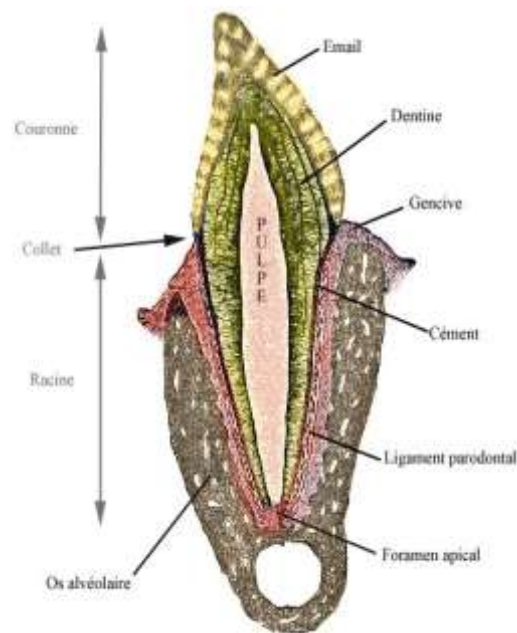


Figure 1 : dent en coupe sagittale (d'après Henry Gray, 1918)

1.1.1 L'émail

L'émail est un tissu d'origine épithéliale, édifié lors de l'amélogenèse, minéralisé à plus de 95 % de son poids dans sa forme mature (Tableau 1). L'émail est le tissu le plus minéralisé de l'organisme et le plus radio-opaque. D'épaisseur variable (2,5 mm au niveau des cuspides, il tend à disparaître aux collets, au niveau de la jonction amélo-cémentaire : JAC), il recouvre la dentine au niveau coronaire et confère aux dents leur aspect esthétique global. Il a un rôle de protection du complexe pulpo-dentinaire de part sa structure complexe, dure et résistante. Il est important de noter que l'émail est un tissu non innervé, par conséquent la carie de l'émail n'est pas douloureuse (Lasfargues et Colon, 2009).

L'émail est composé de deux structures remarquables :

- **L'émail aprismatique** : il se situe au niveau de la bordure externe de l'émail (en contact avec la cavité buccale) et de sa bordure interne, qui est la jonction amélo-dentinaire (JAD).
- **L'émail prismatique** : il se situe entre les couches d'émail aprismatique et est formé par la juxtaposition de structures élémentaires appelées prismes d'émail. Les prismes d'émail sont situés en rang le long de la dent, et à l'intérieur de chaque rang, le grand axe du prisme est généralement perpendiculaire à la dentine sous-jacente. Les prismes d'émail proches de la JAC basculent légèrement vers la racine de la dent et deviennent ainsi de plus en plus parallèles à la surface (Linde et Goldberg, 1993).

Ces prismes sont des cristaux de phosphate de calcium ou hydroxyapatite de formule chimique $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, entourés par une gaine de nature organique, imbriqués les uns dans les autres (Figure 2) (Lasfargues et Colon, 2009). En coupe transversale, ils ressemblent à un trou de serrure, avec la partie supérieure orientée vers la couronne de la dent et la base orientée vers la racine. La disposition des cristaux à l'intérieur de chaque prisme est très complexe (Linde et Goldberg, 1993).

La zone située autour des prismes d'émail est constituée d'**émail interprismatique**. Ce dernier a la même composition minérale que l'émail en prisme, mais diffère par l'orientation de ses cristallites (variation brusque de l'angulation d'environ 60°) et par une concentration plus importante en matrice organique dans l'émail prismatique (Figure 3) (Lasfargues et Colon, 2009).

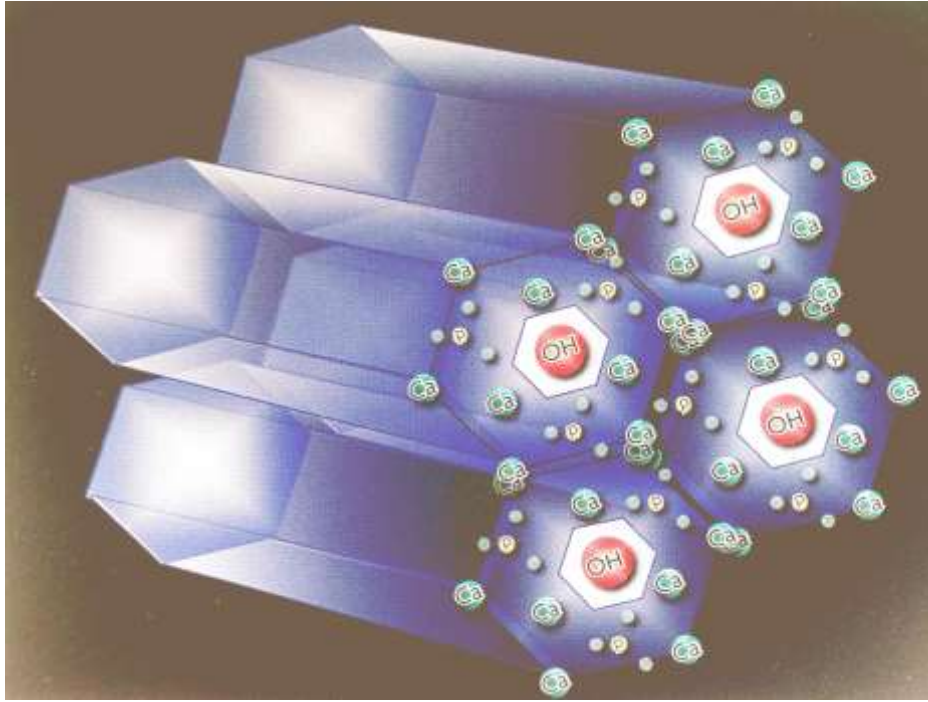


Figure 2 : représentation schématique de l'empilement des cristaux d'hydroxyapatite au sein des prismes de l'émail (d'après Lasfargues et Colon, 2009)

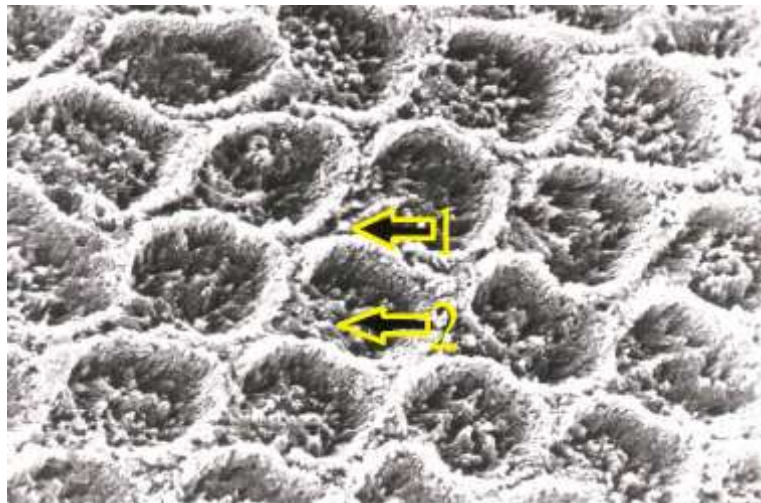


Figure 3 : prismes d'émail en coupe transversale en MEB ; cristaux d'hydroxyapatite (1) interprismatiques (2) prismatiques (d'après Leloup, 2007)

1.1.2 La dentine

La dentine, recouverte par l'émail au niveau coronaire et par le cément au niveau radiculaire, constitue la masse principale de la dent. C'est un tissu conjonctif, minéralisé et non vascularisé, formé par les odontoblastes lors de la dentinogenèse. La part minérale en poids est inférieure à celle de l'émail et voisine de celle du tissu osseux (Tableau 1) (Lasfargues et Colon, 2009).

Une caractéristique fondamentale de la dentine est sa perméabilité et son aptitude à répondre aux *stimuli* externes de nature physico-chimique, thermique et tactile. La dentine réagit de façon concertée avec la pulpe aux sollicitations et agressions d'où la dénomination de complexe pulpodentinaire (CPD) (Linde et Goldberg, 1993).

Les différents types de dentine sont la dentine périphérique et la dentine circum-pulpaire ou orthodentine (Figure 4) :

- **La dentine périphérique** : elle est constituée, dans sa partie externe, par le manteau dentinaire, qui représente une couche de dentine hypominéralisée, située sous la JAD, dépourvue de canalicules dentinaires et intriquée dans l'émail interne. Dans sa partie interne, au niveau de la jonction dentino-pulpaire (JDP), elle est formée par la méta-dentine (Linde et Goldberg, 1993).
- **La dentine circum-pulpaire ou orthodentine** : elle est traversée sur toute son épaisseur par des *tubuli* dentinaires occupant entre 10 et 30 % du volume de ladite dentine. Ces *tubuli* dentinaires sont responsables de la perméabilité de la dentine et donc du passage des irritants biologiques et chimiques vers la pulpe (Linde et Goldberg, 1993). L'orthodentine est un tissu non homogène, formé d'une part, par la dentine inter-tubulaire ou inter-canaliculaire et par la dentine péri-tubulaire ou péri-canaliculaire, d'autre part. La première occupe l'espace entre les canalicules et est le produit principal de la sécrétion des odontoblastes au cours de la dentinogenèse (Linde et Goldberg, 1993). La dentine péri-tubulaire, quant à elle, est hyperminéralisée. Elle s'appose le long des parois canaliculaires et forme une sorte de ceinture ou de gaine autour de la structure des canalicules, ce qui confère à cette dentine une résistance augmentée à la pression et à l'abrasion (Goldberg et Smith, 2004). Cette dentine est en réalité intra-tubulaire, car elle se dépose à la surface interne de la lumière canaliculaire ultérieurement à la formation de la

dentine inter-tubulaire (Linde et Goldberg, 1993) et est continue tout au long de la vie de la dent (Figure 5) (Simon et coll., 2008).

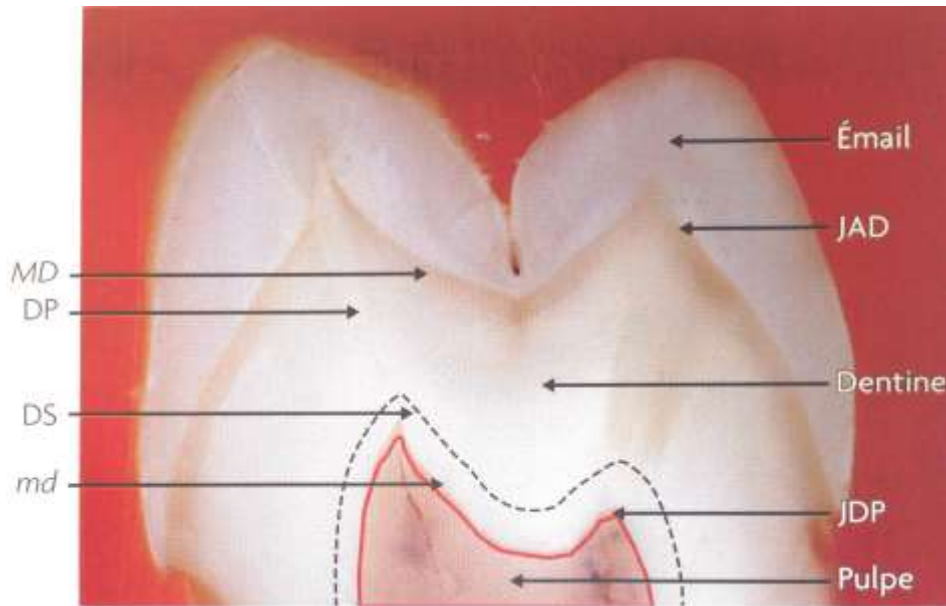


Figure 4 : organisation de l'orthodentine coronaire en dentine primaire (DP) et dentine secondaire (DS) entre les jonctions amélo-dentinaire (JAD) et dentino-pulpaire (JDP). Aux deux extrémités de la dentine circumpulpaire, la présence du manteau dentinaire (MD) et de la méta-dentine (md) (d'après Lasfargues et Colon, 2009)

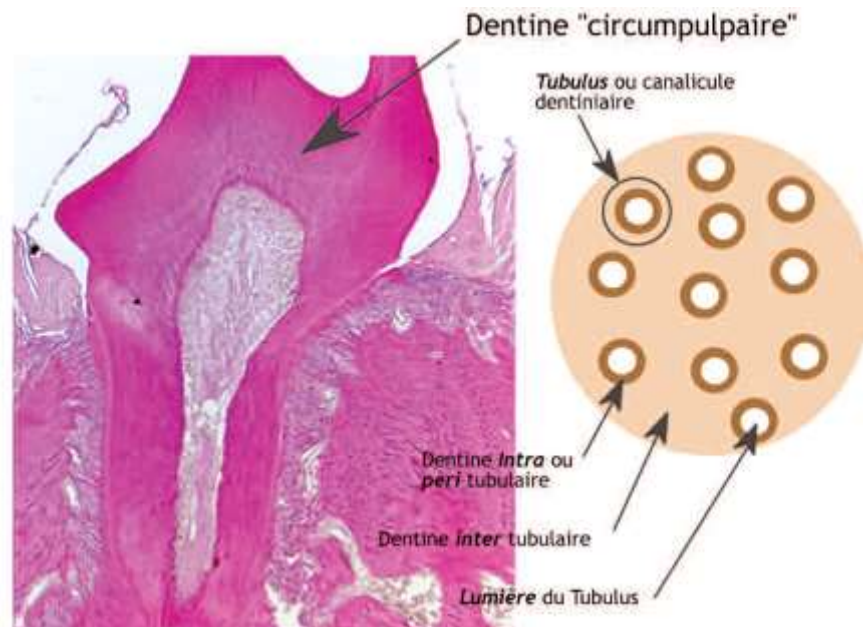


Figure 5 : représentation schématique de la structure de la dentine circumpulpaire (d'après Simon et coll., 2008)

Les *tubuli* dentinaires renferment les prolongements des cellules odontoblastiques et des fibres nerveuses baignant dans le fluide dentinaire. Ces odontoblastes sont dévolus à la protection de l'organe dentaire : ils s'opposent au passage des bactéries et de leurs toxines et sont à l'origine de l'apposition dentinaire : la dentinogenèse (Simon et coll., 2008)

Selon Goldberg et Smith (2004), il existe trois types de dentinogenèse : la dentinogenèse primaire, secondaire et tertiaire.

- **la dentinogenèse primaire** : c'est la première formation de dentine lors du développement de la dent. La *mantle dentine* ou « dentine manteau » représente la partie externe de cette dentine primaire (Simon et coll., 2008). L'épaisseur de cette couche de dentine primaire varie de 5 à 30 μm (Linde et Goldberg, 1993).
- **la dentinogenèse secondaire** : elle se produit de façon physiologique tout au long de la vie de la dent. Cependant, la synthèse de la dentine secondaire est ralentie graduellement au cours du temps. Cette synthèse régulière est responsable d'une réduction asymétrique du volume endodontique (Simon et coll., 2008).
- **la dentinogenèse tertiaire** (Figure 6) : la dentine tertiaire, quant à elle, est secrétée en réponse à une agression (carie, abrasion,...) dans le but de protéger la pulpe sous-jacente. Dans le cas d'une agression modérée (sans destruction des odontoblastes), la dentine sécrétée est dite réactionnelle. Lorsque l'agression est plus importante, et que la palissade odontoblastique est altérée, il s'agit d'une dentine dite de réparation (Simon et coll., 2008).

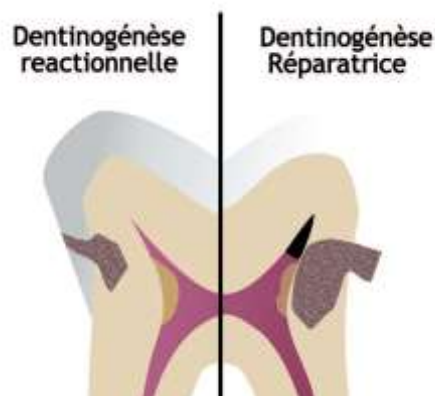


Figure 6 : les deux types de dentine tertiaire (d'après Simon et coll., 2008)

Tableau 1: compositions comparées des tissus minéralisés (valeurs moyennes en %)
(d'après Lasfargues et Colon, 2009)

Phase	Email		Dentine		Cément		Os
	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids	Volume	Poids
Minérale	96	87-91	70	45-50	65-72	45	= 75 %
Organique	0,4	2	20	30	20	30	= 25 %
Aqueuse	3,6	7-11	10	25	10	25	

1.1.3 La pulpe

La pulpe est un tissu conjonctif spécialisé non minéralisé, innervé et vascularisé. Les principales fonctions de la pulpe concernent la formation des dentines, la transmission des informations sensorielles au système nerveux central et la surveillance immunitaire, lui permettant d'engager des réactions inflammatoires en réponse aux agressions.

La pulpe est composée à 75 % d'eau et à 25 % de matériel organique, consistant en différentes cellules au sein d'une matrice extra-cellulaire (MEC) (Lasfargues et Colon, 2009).

- **les cellules pulpaire périphériques :**

- la couche des odontoblastes : elle représente la couche la plus périphérique et est organisée en palissade continue de cellules polarisées hautement différenciées responsables de la formation et de la réparation dentinaires. Ces cellules sont plus nombreuses au niveau coronaire qu'au niveau radiculaire. Chaque odontoblaste fonctionnel émet au moins un prolongement vers la dentine. Les odontoblastes sont reliés entre eux par des jonctions intercellulaires de type gap-jonction participant à la formation d'une véritable barrière protectrice.
- la couche acellulaire de Weill : cette couche, contigüe à la palissade odontoblastique, est pauvre en cellules et contient le plexus capillaire sous-odontoblastique ainsi que des fibres nerveuses amyéliniques sensibles et autonomes (plexus de Raschkow).
- la couche cellulaire de Höhl : cette couche est riche en fibroblastes, cellules mésenchymateuses et dendritiques. Lors des mitoses cellulaires, deux cellules filles sont formées. La première migre vers la palissade odontoblastique, tandis que la seconde rejoint la couche de Höhl pour constituer un réservoir de cellules de surveillance immunitaire et de

cellules en attente. Ces cellules en « stand by » peuvent se différencier en odontoblastes de remplacement lorsque les odontoblastes primaires ont été détruits au cours d'une agression trop importante (Simon et coll., 2008).

- **la masse pulpaire centrale** : les cellules de la pulpe centrale incluent des fibroblastes, des cellules mésenchymateuses et immunitaires.
 - les fibroblastes : ce sont les éléments majoritaires du tissu pulpaire. Ils sont impliqués dans l'élaboration et le remaniement de la MEC et dans la visco-élasticité du tissu pulpaire.
 - les cellules indifférenciées : le plus souvent localisées à proximité des vaisseaux, elles peuvent se différencier en fibroblastes ou néo-odontoblastes. Leur nombre diminue avec l'âge de l'individu, ce qui affecte le potentiel réparateur de la pulpe.
 - les cellules immunocompétentes : elles sont présentes dans la pulpe saine et sont sollicitées lors des réponses inflammatoires aux agressions. Il s'agit des macrophages, des lymphocytes T et des cellules dendritiques. Ces dernières forment un réseau continu dans l'ensemble de la pulpe et constituent le système d'immuno-surveillance de la pulpe. Elles activent les cellules phagocytaires et productrices d'anticorps tels que les macrophages et les lymphocytes B qui assurent la destruction des éléments bactériens et antigéniques (Goldberg et Smith, 2004).
- **la matrice extra-cellulaire** : les fibroblastes de la pulpe produisent une MEC différente de la dentine ou d'autres tissus conjonctifs mous. Un de ses rôles les plus importants est la communication inter-cellulaire. Elle est principalement constituée de collagènes (types III, IV, V, VI) qui représentent 34 % de l'ensemble des protéines pulpaire (Goldberg et Smith, 2004). Les fibres de collagène ont un rôle de support. Les autres constituants de la MEC sont les glycoprotéines, les fibres d'élastine, les glycoaminoglycanes, les lipides et les métalloprotéases. Ces dernières jouent un rôle essentiel dans le remodelage de la pulpe physiologique lors des phénomènes inflammatoires et cicatriciels.

L'innervation de la pulpe est composée par les fibres afférentes et efférentes des systèmes sensoriel et sympathique, qui pénètrent et sortent du tissu pulpaire par le foramen apical.

On retrouve dans la pulpe les deux catégories habituelles de fibres nerveuses :

- **Les fibres sensorielles ou neuropeptides** : elles sont responsables de la perception douloureuse et se différencient en deux groupes principaux : les fibres A, myélinisées, et les fibres C, plus fines et non myélinisées.
- **Les fibres autonomes** : elles régulent le débit sanguin et assurent le tonus vasomoteur pulpaire. Elles incluent des fibres sympathiques et parasympathiques (Lasfargues et Colon, 2009).

1.2 La carie

1.2.1 Définition et épidémiologie

La carie est une maladie infectieuse multifactorielle, transmissible et chronique, caractérisée par la destruction localisée des tissus dentaires par les acides produits par la fermentation bactérienne des glucides alimentaires (Lasfargues et Colon, 2009).

Selon l'OMS, en 2012, 60 à 90% des enfants scolarisés dans le monde et près de 100% des adultes présentaient des caries, entraînant souvent des douleurs et une sensation de gêne. Toujours selon l'OMS, la carie représente le troisième fléau mondial, après le cancer et les maladies cardio-vasculaires.

En France, en 1998, 60% des enfants de 12 ans étaient atteints par la carie et 80% des lésions étaient concentrées chez 25% des sujets (HAS, 2005).

1.2.2 Etiologies

La carie dentaire est une maladie multifactorielle transmissible. C'est une flore infectieuse, indigène, qui provoque une maladie endogène. La maladie est due à quatre facteurs fondamentaux : la flore bactérienne, le substrat, les facteurs individuels liés à l'hôte et le facteur temps.

En 1959, le diagramme de Keyes ne prenait en compte que les facteurs liés à l'hôte, le substrat et la flore bactérienne. C'est seulement en 1978 que Newbrun rajoute un quatrième facteur : le temps (Figure 7).

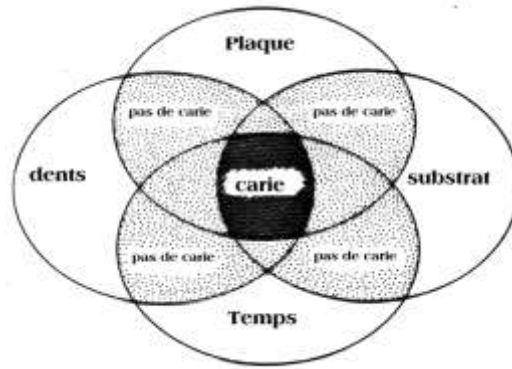


Figure 7 : schéma de la trilogie de Keyes modifiée (d'après Newbrun, 1978)

- **La flore bactérienne**

Cette flore du biofilm dentaire est constituée à 60% de bactéries anaérobies facultatives et 40% de bactéries anaérobies strictes. Les trois espèces considérées comme particulièrement pathogènes pour les tissus durs de la dent sont les Streptocoques buccaux (*S. mutans*, *S. sanguis*), les Lactobacilles (*L. acidophilus*, *L. casei*) et les *Actinomyces* (*A. naeshlundii*, *A. viscosus*) (Lasfargues et Colon, 2009).

La formation du biofilm sur les surfaces dentaires passe par quatre étapes, qui sont : la formation de la pellicule exogène acquise (PEA), l'adhérence bactérienne, la co-adhésion bactérienne et l'activité bactérienne (Lasfargues et Colon, 2009).

- La formation de la PEA passe par l'adsorption des glycoprotéines salivaires spécifiques sur les surfaces dentaires. Cette PEA recouvre toute surface exposée à l'environnement buccal. Son épaisseur ne dépasse pas 1µm. Elle sert de lubrifiant, protégeant les surfaces dentaires de l'usure, mais également de réservoir en électrolytes pour la reminéralisation. (Houvion, 2014).
- L'adhérence des bactéries se fait grâce aux adhésines de surface au niveau de leur paroi sur les glycoprotéines de la PEA. Il existe une sélectivité naturelle selon les composants salivaires et ceux de la PEA, qui facilitent l'adhésion de microorganismes spécifiques. Cette adhésion est réversible.
- La co-adhérence bactérienne est la liaison d'une bactérie libre à une autre déjà fixée. Elle peut s'établir soit entre deux bactéries de la même espèce (homotypique), soit entre deux bactéries d'espèces ou de genres différents, (hétérotypique) (Houvion, 2014).

- L'activité bactérienne est représentée par la formation d'une matrice extracellulaire (MEC) d'origine bactérienne, servant à la fois de « cocon » protecteur et de réserve alimentaire. Les caractéristiques chimiques de la MEC peuvent induire l'exclusion ou limiter la pénétration d'autres molécules, y compris la pénétration de certains agents antimicrobiens chargés (Houvion, 2014).

Les bactéries constituant la flore buccale ne sont pas toutes représentées au niveau du biofilm. Les proportions changent avec le temps, ainsi les Streptocoques oraux, qui sont les colonisateurs primaires, augmentent pendant les 12 premières heures. Ils représentent 60 à 80% des bactéries dans les 4 à 8 heures après le début de la formation du biofilm. Les *Actinomyces*, quant à eux, diminuent entre 4 et 12 heures, puis augmentent jusqu'à 24 heures. Après plusieurs heures, de nouvelles espèces adhèrent aux bactéries pionnières et attirent d'autres espèces qui vont augmenter le volume du biofilm. Ce sont essentiellement des bactéries à Gram négatif telles que *Fusobacterium*, *Haemophilus*, *Porphyromonas*, *Prevotella* (Houvion, 2014).

Lorsqu'il n'est pas éliminé, le biofilm prend de l'épaisseur. Un équilibre s'installe avec l'élimination de certaines espèces, la multiplication d'autres et la fixation de nouvelles. En deux à trois semaines l'équilibre est atteint et le biofilm peut alors contenir jusqu'à 10^9 bactéries par milligramme de matière.

La présence bactérienne est spécifique d'un site carieux (Tableau 2). Schématiquement, les Streptocoques jouent le rôle essentiel dans le déclenchement des lésions, les Lactobacilles sont plus responsables du développement des lésions et les Actinomyces sont plus rencontrés dans les caries radiculaires. Ces trois espèces sont aussi impliquées dans les caries secondaires (Lasfargues et Colon, 2009).

Tableau 2 : Potentiel cariogénique des différentes bactéries en fonction des sites carieux (d'après Lasfargues et Colon, 2009)

	Surfaces lisses	Fosses et sillons	Surfaces radiculaires	Dentine
<i>Lactobacillus</i>	-	++	-	++
<i>S. mutans</i>	+++	+++	+++	+
<i>S. sanguinis</i>	-	+	+	-
<i>S. salivarius</i>	-	+	+	-
<i>S. mitis</i>	-	+	-	-
<i>S. anginosus</i>	-	+	-	-
<i>Enterococcus</i>	-	+	-	-
<i>Actinomyces</i>	-	+	+	++
Filaments	-	-	+	++

- **Le substrat**

Le substrat est tout ce qui, dans le régime alimentaire, est susceptible de fournir les nutriments à la flore bactérienne. Ce sont principalement les sucres. Le terme de « sucre » désigne deux classifications d'hydrates de carbone : les monosaccharides ou les sucres simples (glucose, fructose, galactose), et les disaccharides (saccharose, lactose, maltose). Les plus cariogènes sont les sucres fermentescibles (raffinés) sous forme liquide, solide ou collante pris en fin de repas. L'acidogénicité et la cariogénicité potentielle du saccharose, glucose et maltose sont similaires (Mobley, 2003).

La fermentation des sucres emprunte la voie de la glycolyse ou voie d'Embden-Meyerhof. Les chaînes de polysaccharides sont dissociées en monosaccharides et disaccharides. Dans des conditions d'abondance de glucides exogènes, les sucres disponibles, qui ne sont pas stockés sous forme de polysaccharides (glycogène, amidon), sont rapidement fermentés en produits de dégradation acides. L'acide lactique représente 80 % des acides produits. Il s'agit alors d'une homofermentation lactique (Robert, 2012).

- **Les particularités liées à l'hôte**

Les particularités liées à l'hôte concernent la dent, ainsi que son environnement immédiat, la salive qui la baigne et qui contient les défenses naturelles et acquises de l'individu. Elles peuvent être d'origine intrinsèque ou extrinsèque.

- Particularités intrinsèques : (HAS, 2010)

- les facteurs héréditaires sont la taille, la position, la morphologie et l'anatomie de la dent, ainsi que la solidité de l'émail. Des sillons profonds, des craquelures, des malpositions ou un encombrement dentaire permettent à la plaque dentaire de se loger dans des endroits difficiles d'accès et empêchent un nettoyage physiologique par le flux salivaire et le jeu musculaire. La place de la dent sur l'arcade est capitale. Les dents difficiles d'accès comme les dents de sagesse se carient plus facilement.
 - la salive par son pouvoir tampon, son action anti-bactérienne et son rôle de réservoir d'ions est la cause principale de la très grande résistance de la dent à l'infection carieuse. La salive constitue un réservoir d'ions comme le calcium, les phosphates ou le fluor qui permettent la reminéralisation de l'émail.
 - l'état général et métabolique du patient et ses traitements médicamenteux sont autant de facteurs de risque du développement de la carie. Les cancers de la sphère oro-faciale, nécessitant une radio ou chimiothérapie, entraînent un tarissement du flux salivaire, ce qui a pour conséquence l'augmentation du nombre de caries. Il en est de même pour les patients atteints du syndrome de Gougerot-Sjögren. Les pathologies nécessitant la prise à long terme de médicaments sucrés sont un facteur de risque important. La présence d'un handicap physique ou mental rend souvent difficile l'hygiène bucco-dentaire.
- Les facteurs extrinsèques : ce sont tous les facteurs, qui relèvent du comportement.
- la qualité de l'hygiène bucco-dentaire (brossage bi-quotidien avec dentifrice fluoré, etc.)
 - les habitudes alimentaires (fréquence de consommation des sucres fermentescibles, grignotage entre les repas, y compris de boissons sucrées)
 - la fréquence des visites chez le dentiste (l'accès aux soins et son renoncement pour des raisons financières ou autres) et le niveau de recours aux actes de prophylaxie réalisés par des professionnels

(application de vernis fluorés, scellement des sillons, etc.) (HAS, 2010).

- **Le facteur temps**

La consommation de sucres fermentescibles engendre les caries. Pourtant ce n'est pas la quantité consommée, mais bien la fréquence de cette consommation, qui provoque le plus de dommages.

Dans les années 1940, Stephan a montré que les prises régulières de glucides empêchaient les systèmes tampons salivaires de fonctionner et créaient un environnement propice aux déminéralisations (Figure 8). L'exposition à un glucide fermentescible entraîne une baisse immédiate et rapide du pH, qui était initialement proche de la neutralité. Ce dernier chute en-dessous de 5,5 en 2 minutes environ. La période critique (5,5 – 4,5) dure 15 minutes en moyenne, l'émail recouvert de plaque est alors soumis à déminéralisation. Il faut près de 20 minutes pour que le pouvoir tampon de la salive ramène le pH local au-dessus de 5,5 et 40 minutes pour revenir au pH initial de 7. Une période de reminéralisation s'ensuit. La durée complète du cycle est d'environ 60 minutes (Lasfargues et Colon, 2009).

Une étude, menée à Vipeholm (Suède) dans un hôpital psychiatrique entre 1945 et 1954, a montré que les sujets ayant consommé des sucres sous forme collante entre les repas présentaient plus de caries que les sujets ayant consommé la même quantité de sucre, mais au moment des repas (Mobley, 2003).

La cariogénicité du sucre est augmentée quand celui-ci est associé à l'amidon (Mobley, 2003). De part sa consistance collante, ce dernier amène les sucres en contact étroit avec les surfaces dentaires empêchant leur chasse physiologique par la salive. La durée du contact entre les sucres et la dent s'en trouve augmenté (Mobley, 2003).

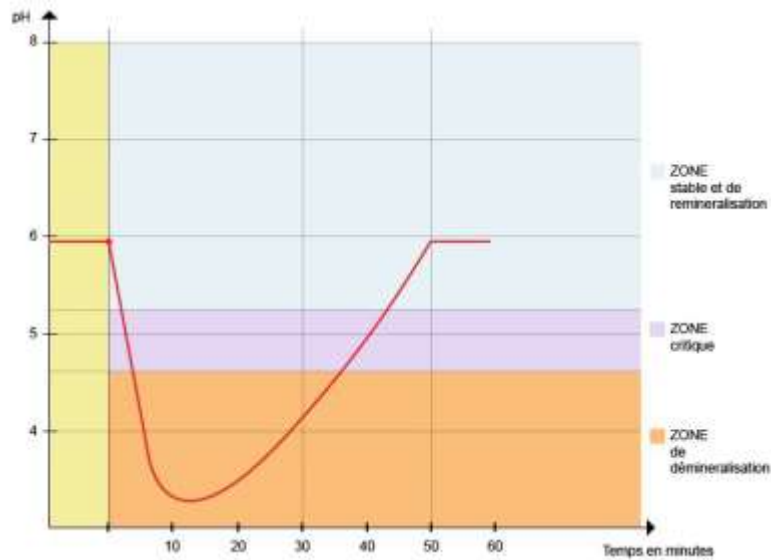


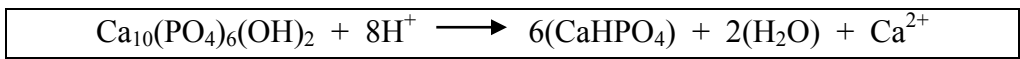
Figure 8 : courbe de Stephan (d'après Mouton et Robert, 1994)

1.2.3 Processus carieux

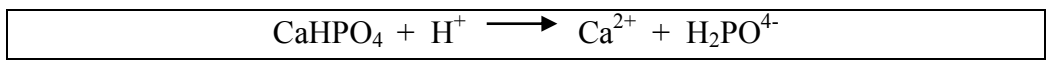
- **Mécanismes physico-chimique de la carie**

Les acides, produits par le métabolisme bactérien, sont capables de provoquer une baisse du pH salivaire. Lorsque le pH est inférieur à 5,5, il y a dissolution des cristaux d'hydroxyapatite de l'émail. Cette dissolution est appelée déminéralisation.

Dans des conditions acides, le phosphate de calcium solide est transformé en une nouvelle phase plus soluble avec un rapport calcium/phosphate (Ca/P) plus faible. Les ions calcium seront libérés dans le milieu. Lorsque le pH diminue, l'hydroxyapatite réagit avec des protons pour donner un sel phosphocalcique dont le rapport Ca/P est faible. Il se produit la réaction suivante : (Li et coll., 2014b)



CaHPO4 va se dissoudre ensuite très lentement et devenir soluble :



Tant que le pH reste inférieur au seuil critique, la déminéralisation se poursuit. Cependant, c'est un phénomène réversible.

Des conditions basiques vont entraîner la formation d'une phase différente avec une solubilité plus faible et un rapport Ca/P plus élevé. Le phosphate de calcium se reprecipite pour intégrer la couche superficielle de l'émail (Li et coll., 2014b).

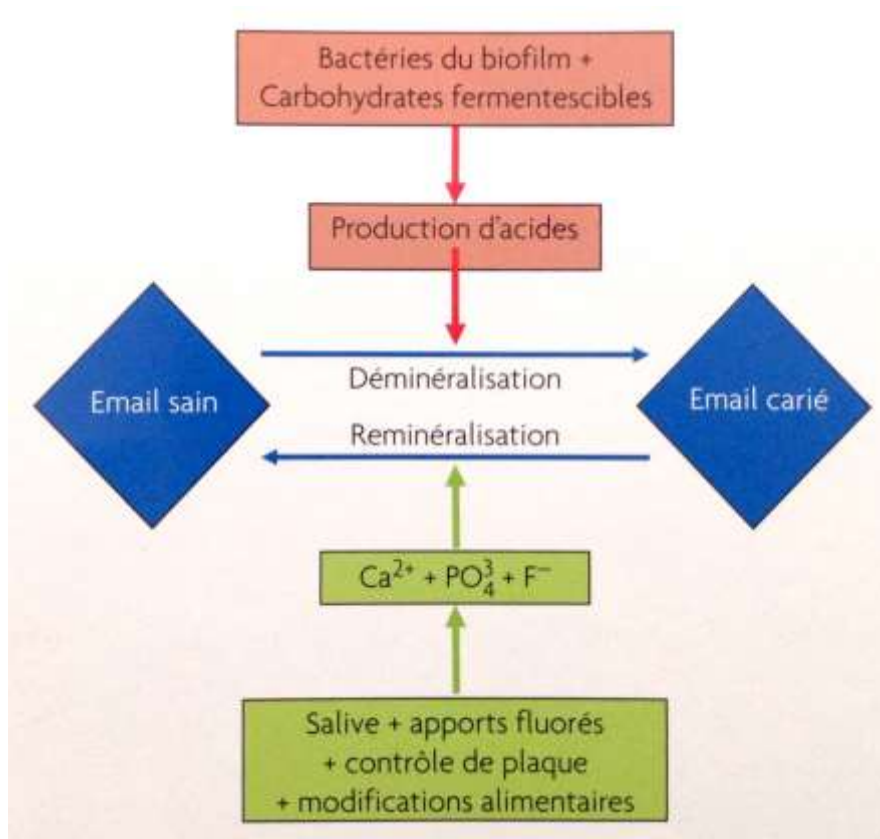


Figure 9: schématisation des mécanismes de déminéralisation et reminéralisation (d'après Selwitz et coll., 2007)

- **Histopathologie de la lésion carieuse**

- **Carie de l'émail**

Le processus carieux démarre au niveau de l'émail par une large plage de déminéralisation contiguë à une zone d'accumulation de plaque dentaire, c'est la lésion blanche (white spot). Il se forme à la surface de l'émail des micropuits ou microlésions, qui traversent l'émail prismatique avant de rejoindre les gaines de prismes en subsurface. En coupe longitudinale, la lésion amélaire prend une forme triangulaire caractéristique ou cône carieux amélaire avec le sommet dirigé vers la dentine (Lasfargues et Colon, 2009).

L'émail, même carié, reste un tissu hautement minéralisé, une reminéralisation demeure possible, en raison de la persistance de quelques prismes d'émail, en éliminant la plaque et en réalisant un apport de fluor. Il est admis que tant que l'émail recouvre la dentine, il n'y a pas d'invasion bactérienne des canalicules dentinaires (Lasfargues et Colon, 2009).

Au stade de déminéralisation plus avancé, une microcavité se forme. Cette microcavité permet l'accumulation de plaque, nécessitant la réalisation d'un nettoyage des tissus lésés afin d'arrêter la progression du processus carieux. Lorsque la biomasse bactérienne a directement

accès à la surface dentinaire exposée, la destruction proprement dite de la dentine peut commencer (Lasfargues et Colon, 2009).

➤ **Carie de la dentine**

Lorsque les bactéries et leurs sous-produits atteignent la JAD, la déminéralisation de la dentine s'accélère et un espace (*gap*) se crée entre émail et dentine du fait de la destruction superficielle du manteau dentinaire. Les prismes d'émail non soutenus par la dentine collapsée se fragmentent laissant apparaître la dentine sous-jacente en fond de cavité. Les bactéries pénètrent les canalicules.

Au stade cavitare, la carie acquiert une forme quasi pathognomonique de cône carieux dentinaire dont la base se situe près de la JAD et qui se subdivise en trois zones : la dentine opaque, la dentine transparente et la dentine apparemment normale.

La dentine opaque se divise elle aussi en trois zones : la dentine nécrotique, la dentine infectée et la dentine affectée (Lasfargues et Colon, 2009).

- **La dentine nécrotique** : c'est une zone de désintégration totale, tapissée de colonies bactériennes.
- **La dentine infectée** : c'est une zone d'invasion bactérienne, constituée de dentine « ramollie », de consistance cuir mâché, fortement déminéralisée, contaminée par des bactéries présentes dans des canalicules dilatés du fait de la destruction de la dentine péricanaliculaire.
- **La dentine affectée** : c'est une zone de déminéralisation au niveau de laquelle se conjuguent l'action des acides et des enzymes protéolytiques. Elle n'est infiltrée que par les bactéries pionnières et est considérée comme non infectée (Lasfargues et Colon, 2009). La dentine est relativement molle, sa teinte est peu modifiée et la matrice collagénique conserve une forme presque intacte. Cette matrice de collagène est susceptible d'être reminéralisée, c'est pourquoi elle doit être préservée lors de l'éviction carieuse (Figure 10) (Zavgorodniy et coll., 2008).

Sous la couche de dentine affectée, la dentine transparente est parcourue de *tubuli* dentinaires presque entièrement minéralisés. La dentine intertubulaire, par contre, est légèrement déminéralisée. Ses propriétés mécaniques sont abaissées par rapport à la dentine saine. Elle apparaît translucide au microscope à contraste de phase, d'où son nom (Zavgorodniy et coll., 2008).

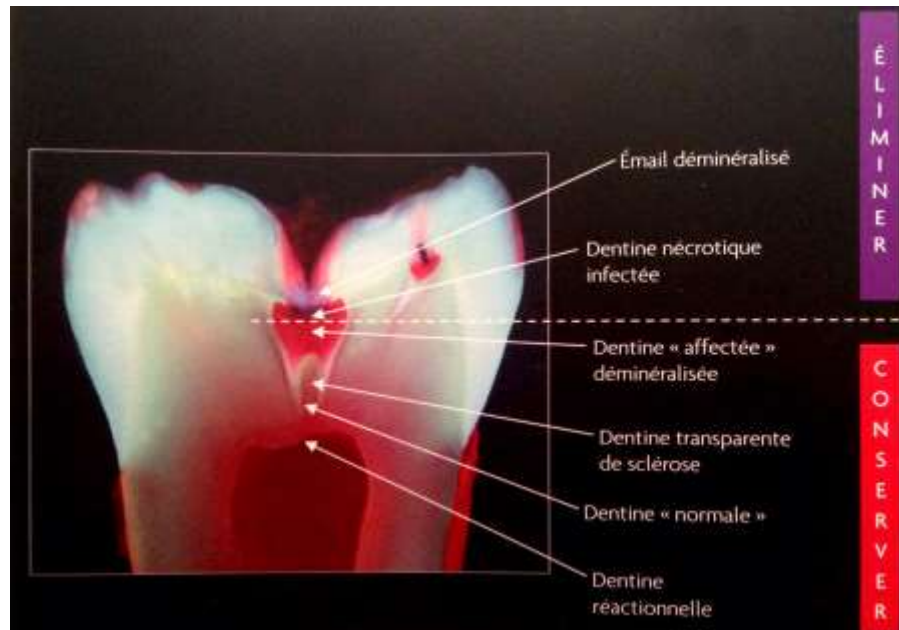


Figure 10 : figuration des différentes couches de la carie et les réactions pulpodentaires sous-jacentes (d'après Lasfargues et Colon, 2009).

1.2.4 Diagnostic carieux

Le diagnostic repose sur une méthode en trois temps : l'anamnèse, l'examen clinique et les examens complémentaires.

L'anamnèse permet d'enregistrer le motif de la consultation ainsi que les doléances et les symptômes décrits par le patient. Elle doit permettre de connaître l'historique médical et dentaire et les éventuelles médications passées ou en cours.

Lors de l'examen clinique, le praticien devra évaluer le risque carieux individuel (RCI) du patient (Tableau 3), localiser les zones à risque, évaluer le nombre, la nature et le degré d'activité des lésions, et établir une cartographie des lésions à reminéraliser ou à réparer.

Habituellement, les lésions carieuses sont détectées en combinant trois outils de base, qui sont : l'examen visuel, la perception tactile et la radiographie.

Tableau 3 : évaluation du risque carieux (d'après Jingarwar et coll., 2014)

Risque carieux bas	Risque carieux modéré	Risque carieux élevé
Pas de caries dans les dernières années	Une lésion carieuse dans les dernières années	≥ 2 lésions carieuses dans les 3 dernières années
Puits et fissures scellés	Puits et fissures profonds	Puits et fissures profonds
Bonne hygiène buccale	Hygiène buccale moyenne	Caries des surfaces lisses
Fluorothérapie appropriée	Lésions blanches / radioclarité interproximale	Fluorothérapie faible ou absente
Visites de contrôle régulières	Fluorothérapie inadéquate	Taux élevé de S. mutans dans la salive
	Visites de contrôle irrégulières	Hygiène buccale mauvaise
	Traitement orthodontique	Prises de sucre fréquentes
		Flux salivaire insuffisant
		Visites de contrôle irrégulières
	Alimentation inappropriée par le biberon (enfants)	

1.2.5 Classifications

Avec l'évolution de la dentisterie et le développement de matériaux de restauration adhésive, la classification de Black, créée en 1908 pour les restaurations à l'amalgame, est devenue obsolète. En effet, l'avènement de la dentisterie adhésive (1962) a permis une économie tissulaire importante ne nécessitant plus d'artifices liés à la rétention et à la stabilité du matériau qui consommaient beaucoup de tissu dentaire sain. De plus, cette classification ne prenait pas en compte ni la taille, ni le stade atteint par la lésion permettant de prendre une décision thérapeutique.

À ce jour, les classifications sont nombreuses, c'est pourquoi nous n'aborderons que les principales, qui sont : la classification de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la classification visuelle ICDAS, la classification radiologique et les classifications à visée thérapeutique de Mount et Hume et SiSta.

- **Classification de l'OMS de 2006 : Classification Mondiale des Maladies**

Dans le cadre de sa Classification Internationale des Maladies (CIM), au chapitre des maladies de la cavité buccale (chapitre XI, K02), l'OMS s'intéresse aux caries dentaires. L'OMS classe les caries en fonction des tissus atteints :

- carie limitée à l'émail (carie initiale, tache blanche)
- carie de la dentine
- carie du ciment

À cette classification histologique, l'OMS ajoute une notation par degrés « D », qui code la gravité de la lésion :

- D1 : lésion de l'émail cliniquement détectable avec une surface intacte non cavitaire.
- D2 : lésion de l'émail cliniquement détectable avec une cavité limitée à la dentine.
- D3 : lésion de la dentine cliniquement détectable avec ou sans cavitation de la dentine.
- D4 : lésion de la pulpe (Lasfargues et Colon, 2009).

Cependant, depuis 1997, Pitts met en garde les praticiens sur ce qu'il appelle la partie immergée de l'iceberg (Figure 11). En effet, les caries et les lésions débutantes ne peuvent pas être détectées par un simple examen visuel, mais par des moyens de diagnostic modernes ou futurs. Il estime que jusqu'au stade D3+ (lésions dentinaires cavitaires en progression et profondes) il n'est pas nécessaire d'intervenir chirurgicalement, mais privilégier une approche préventive (Lasfargues et Colon, 2009).

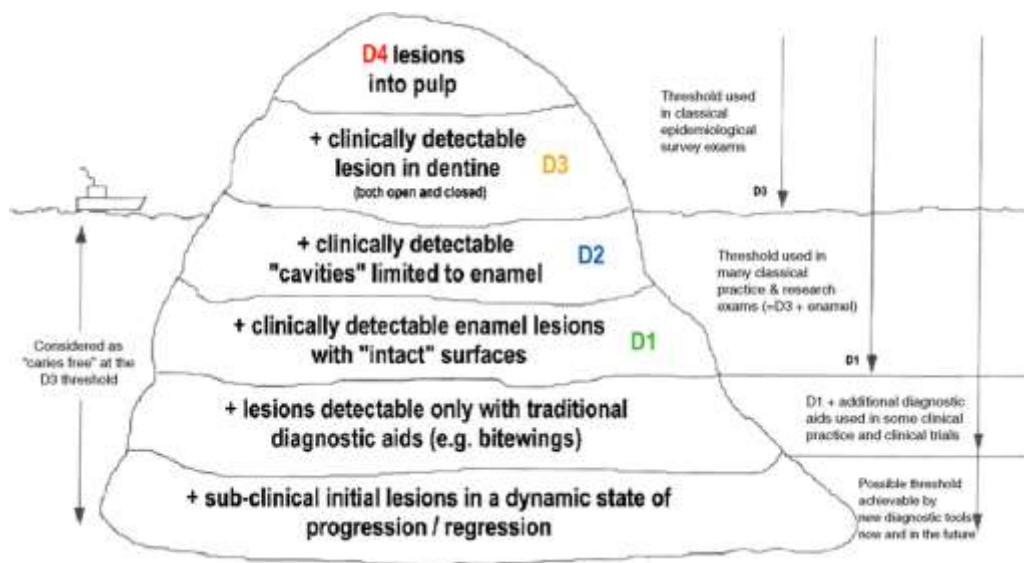


Figure 11 : « iceberg » de la carie et importance des systèmes de détection carieuse (d'après Pretty, 2007)

- **Classification visuelle ICDAS**

En 2001, à Bethesda, la conférence de consensus sur « Le diagnostic et la gestion des caries tout au long de la vie » a mis en avant un système de détection carieuse basé sur les signes visuels rationalisés sous la forme d'un système codifié : l'ICDAS (*International Caries Detection And Assessment System*). Il existe actuellement une deuxième version de ce système depuis 2005, l'ICDAS II, qui concerne les lésions des surfaces lisses et occlusales.

Le système ICDAS est fondé sur l'inspection visuelle des surfaces dentaires nettoyées et séchées. Les critères de classification font l'objet d'un consensus international (Tableau 4) (Bail, 2012).

Tableau 4: classification ICDAS II (d'après Ismail et coll., 2005)

Code	Système de détection ICDAS II
0	Surface dentaire saine
1	Premier changement visuel de l'émail 1w (<i>white spot</i>) ou 1b (<i>brown spot</i>)
2	Changement visuel distinct de l'émail 2w ou 2b
3	Rupture localisée de l'émail due à la carie, sans exposition dentinaire visible ni transparence ombrée due à la dentine cariée sous-jacente
4	Ombres foncées provenant de la dentine cariée sous-jacente sans ou avec rupture localisée de l'émail
5	Cavité distincte avec dentine visible
6	Cavité distincte étendue à la dentine visible

- **Classifications radiologiques**

Il existe deux classifications radiologiques : celle de Marthaler et Germann de 1970 (Tableau 5) et celle de Hintze et coll. de 1998 (Tableau 6).

Tableau 5 : classification radiologique de Marthaler et Germann (d'après Bail, 2012)

Code	Classification radiologique
C1	Déminéralisation limitée à la moitié externe de l'épaisseur de l'émail
C2	Déminéralisation étendue à la totalité de l'émail
C3	Déminéralisation jusqu'à la moitié externe de la dentine
C4	Déminéralisation jusqu'à la moitié interne de la dentine

Tableau 6 : classification radiologique de Hintze et coll. (d'après Bail, 2012)

Score	Classification radiologique
S0	Tissus sains (pas de radioclarité)
S1	Radioclarité touchant la moitié externe de l'émail
S2	Radioclarité s'étendant à la moitié interne de l'émail
S3	Radioclarité atteignant le tiers externe de la dentine
S4	Radioclarité s'étendant aux deux tiers internes de la dentine

Cependant, la difficulté de corrélérer une image radiologique en deux dimensions à une réalité histologique en trois dimensions constitue la principale limite de ces systèmes de classification. Ceci peut induire des erreurs dans la détection des lésions (Bail, 2012).

- **Classifications à visée thérapeutique de Mount et Hume et SiSta**

En 2007, Mount et Hume établissent une nouvelle classification des lésions carieuses, définie par trois sites, correspondant aux zones de rétention de plaque bactérienne et par quatre tailles de lésions déterminées par l'extension de la carie. Cette classification a été modifiée par Lasfargues en 2000 et a été présentée sous le concept SiSta (Sites et Stades : tableaux 7 et 8) qui repose sur trois principes : le principe d'économie tissulaire, le principe d'adhésion et le principe de bio-intégration. La différence majeure entre ces deux classifications est l'ajout du stade 0 (lésion initiale) dans la classification SiSta (Lasfargues et Colon, 2009).

Tableau 7 : sites de la classification SiSta (d'après Lasfargues et Colon, 2009)

Sites	Description
1	Lésions au niveau des puits, sillons, fosses et fossettes de toutes les dents
2	Lésions proximales (elles peuvent toucher les aires de contact de toutes les dents)
3	Lésions cervicales à point de départ amélaire ou cémentaire sur toutes les dents

Tableau 8 : les stades de la classification SiSta (d'après Lasfargues et Colon, 2009)

Stades	Lésion	Description
0	Initiale	La lésion n'a pas encore atteint la jonction amélo-dentinaire. A ce stade la lésion peut être reminéralisée.
1	Légère	La lésion se situe dans le tiers dentinaire externe et se caractérise par une micro-cavitation. Il y a nécessité d'une intervention chirurgicale avec mise en place d'un matériau adhésif et un traitement prophylactique des zones adjacentes.
2	Modérée	La lésion s'étend jusqu'au tiers dentinaire médian. Il y a suffisamment de structure dentaire intacte pour maintenir l'intégrité de la couronne restante et pour recevoir la charge occlusale. On réalisera une préparation cavitaire conservatrice en ménageant les structures affectées en vue d'une restauration collée directe.
3	Profonde	La lésion atteint le tiers dentinaire interne avec une cavitation franche. Il faudra réaliser une préparation cavitaire en vue d'une restauration collée directe ou indirecte préservant les structures dentaires résiduelles.
4	Extensive	La lésion atteint les zones para-pulpaire avec effondrement des crêtes marginales et la destruction d'une ou plusieurs cuspides. Dans ce cas, on fera une restauration indirecte protégeant par recouvrement les structures résiduelles.

2 TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC RÉCENTES

Cliniquement, la pratique d'une dentisterie micro-invasive correspond à la stricte application du principe d'économie tissulaire. Cela implique des problèmes spécifiques à plusieurs niveaux :

- la 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 par le praticien des gestes techniques spécifiques,
- savoir distinguer l'efficacité des nouveaux outils entre le traitement chirurgical c'est-à-dire l'élimination de la dentine infectée et la préparation à proprement parler,
- obturer la préparation avec un matériau approprié.

Pour promouvoir la dentisterie préventive il faut détecter la carie le plus tôt possible. La plupart des techniques d'observation, telles que le sondage ou la radiographie pèchent par leur manque de précision ce qui réduit leur sensibilité, spécificité et reproductibilité (Figures 12 et 13) (Tassery et coll., 2006). Or, l'échec des thérapies de reminéralisation est principalement dû au fait que l'on détecte la carie trop tard, à un stade où celle-ci a atteint la dentine ou bien le plus souvent à un stade de cavitation (Pretty, 2006).

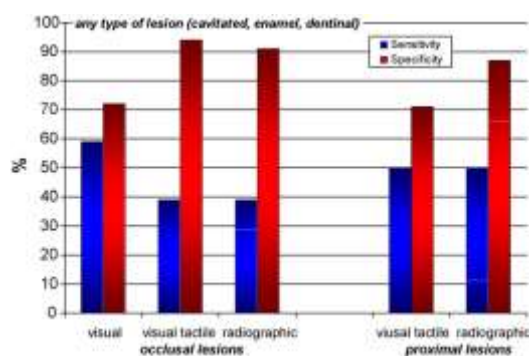


Figure 12: efficacité des techniques de détection traditionnelles sur des lésions de gravité différente (d'après Bader et coll., 2001)

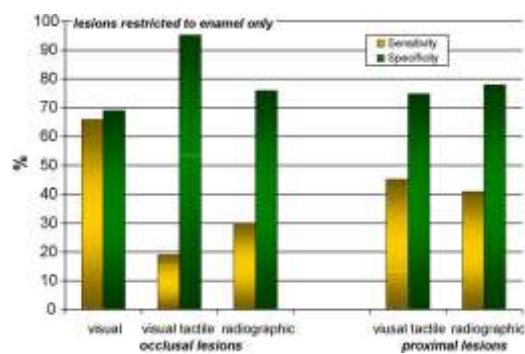


Figure 13 : efficacité des techniques de détection traditionnelles sur des lésions limitées à l'émail (d'après Bader et coll., 2001)

Il est important de faire la distinction entre diagnostic, détection et quantification des lésions carieuses. Le diagnostic est un acte d'identification de la maladie carieuse à partir de ses signes et de ses symptômes (Manton, 2013). La détection permet de dire, grâce à un instrument objectif, si oui ou non, il y a présence d'une lésion carieuse ; alors que la quantification caractérise et mesure l'étendue de la lésion (Manton, 2013). Les systèmes de détection visent à augmenter le processus de diagnostic en facilitant la détection précoce de la maladie ou en permettant sa quantification de manière objective. Ils fournissent une aide à la prise de décision thérapeutique pour le praticien. Tandis que les techniques d'observation classiques restent subjectives, les nouveaux systèmes de détection se basent sur la mesure d'un signal physique tel que les rayons X, la lumière visible, le laser, le courant électrique ou encore les ultra-sons.

Dans ce chapitre nous allons, donc, aborder les systèmes de détection et de quantification des lésions carieuses.

2.1 La radiographie numérique

Bien que moins précise que la radiographie argentique, la radiographie numérique connaît un grand essor. Alors que cette dernière possède seulement 256 niveaux de gris, la radiographie argentique en possède plusieurs millions. Ces niveaux de gris déterminent directement la résolution de l'image (Pretty, 2006). La principale limite de la radiographie numérique est la détection des caries occlusales, principalement dans les stades précoces (Manton, 2013). La sensibilité, la spécificité et la reproductibilité sont faibles (Manton, 2013 ; Pretty, 2006). De plus, la validité des résultats dépend de l'expérience du praticien. La sensibilité est plus basse et la spécificité est plus importante dans le cas d'un praticien expérimenté en comparaison à un étudiant non diplômé (Manton, 2013). Cependant, la radiographie numérique permet de travailler l'image obtenue grâce à des algorithmes (Figure 17). La sensibilité et la spécificité se voient respectivement augmentées à 0,95 et 0,83 pour des lésions proximales (Pretty, 2006).

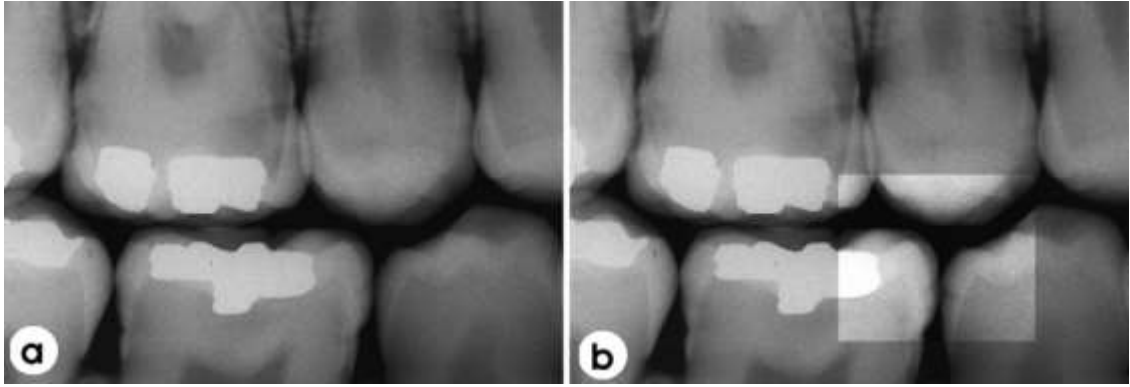


Figure 14 : comparaison entre radiographie numérique normale et amélioré : (a) radiographie numérique (b) cliché amélioré, les lésions proximales au niveau de la 45 et 46 sont visibles plus nettement (d'après Pretty, 2006).

Pour un cliché identique, la radiographie numérique est beaucoup moins irradiante que la radiographie argentique. De plus, les clichés numériques peuvent être facilement stockés et dupliqués (Manton, 2013 ; Pretty, 2006).

La radiographie soustractive, quant à elle, permet de suivre la progression ou la régression d'une lésion carieuse. Le principe est la visualisation de la différence entre un cliché (a) et un cliché (b) (Figure 18). Il est évident que les deux clichés doivent être parfaitement alignés, car toute différence même minime sera considérée comme un changement au niveau de la lésion (Pretty, 2006).

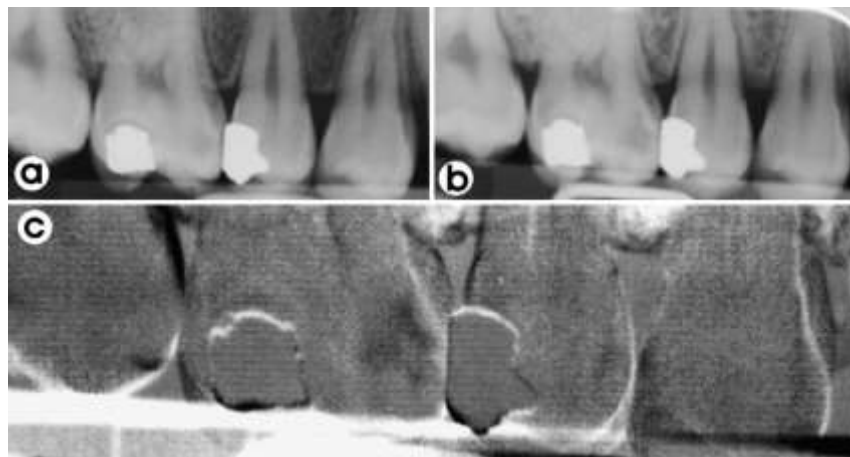


Figure 15 : radiographie soustractive (a) lésion mésiale au niveau de la première molaire (b) même dent à J+12 mois (c) la différence entre les deux clichés apparaît en noir : il y a progression de la lésion carieuse (d'après Pretty, 2006)

Tableau 9 : avantages et inconvénients de la radiographie numérique

Avantages	Inconvénients
Logiciel permettant d'améliorer l'image Facilité de stockage Possibilité de dupliquer les clichés et de les transmettre aisément Irradiation plus faible par rapport à la radiographie argentique	Sensibilité et reproductibilité faibles Pas adapté à la détection des caries précoces occlusales

2.2 Techniques de transillumination

Ces techniques sont basées sur le phénomène de diffusion de la lumière. L'examen doit impérativement se faire sur dents sèches, car l'eau possède un indice de réfraction similaire à l'émail.

2.2.1 Transillumination par fibre optique (FOTI)

Cette technique est utilisée depuis les années 70. L'équipement FOTI est constitué d'un appareil relié à une pièce à main, qui envoie une lumière blanche de haute intensité (Figure 16). Lorsque la dent est éclairée, l'émail sain laisse passer la lumière, car il est très dense, alors que lorsque l'émail est rompu des ombres plus ou moins foncées apparaissent à la surface dentaire (Figure 17) (Pretty, 2006).

Cet appareil est une aide pour la différenciation entre une carie précoce de l'émail et une carie précoce de la dentine. Cependant, le plus grand bénéfice de FOTI est de pouvoir détecter des lésions initiales au niveau de toutes les faces et tout particulièrement au niveau des faces proximales (Pretty, 2006).



Figure 16 : équipement FOTI (d'après Pretty, 2006)

Cet équipement peut facilement être installé dans un cabinet. Son utilisation est économique, rapide et ne nécessite qu'un temps d'apprentissage assez court. Cependant, avec la simplicité de l'installation viennent les limites. Le système FOTI reste un moyen de détection des caries subjectif car il est basé sur l'observation faite par un examinateur. De plus, l'absence de matérialisation par une image rend impossible toute conservation de données et donc toute comparaison entre deux examens réalisés à des dates différentes. La sensibilité de cette technique est de 0,21 pour certains auteurs (Tassery et coll., 2013), tandis que pour d'autres, elle est de 0,8 (Gomez et coll., 2013). La spécificité est comprise entre 0,8 et 0,9. La FOTI a été depuis longtemps reconnue comme une aide efficace à la détection des caries proximales (Gomez et coll., 2013 ; Tassery et coll., 2013).

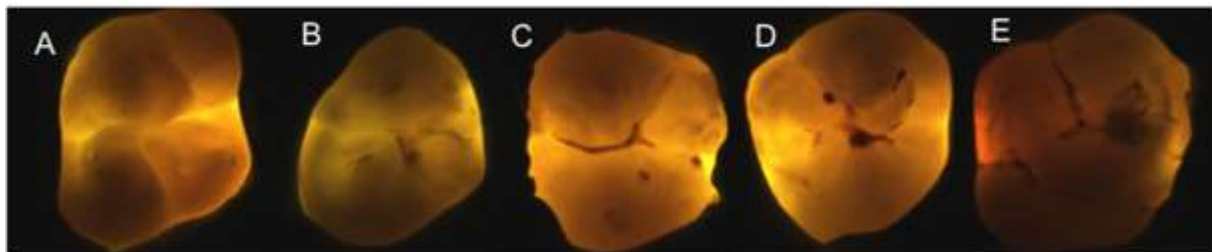


Figure 17 : exemple d'images avec FOTI (a) absence de lésions carieuses (b, c, d, e) les ombres noires au niveau des faces occlusales représentent les lésions carieuses (d'après Gomez, 2015)

Tableau 10 : avantages et inconvénients du système FOTI

Avantages	Inconvénients
Détection des caries précoces	Pas de matérialisation par une image
Détection possible au niveau de toutes les faces dentaires	Pas de stockage des données
Différenciation entre carie de l'émail et de la dentine	Pas de suivi de l'évolution d'une lésion
Economique	Moyen de diagnostic subjectif
Rapide	
Temps d'apprentissage court	

2.2.2 Transillumination par fibre optique avec image numérique (DIFOTI)

Le système DIFOTI utilise également une lumière de haute intensité. La pièce à main est constituée d'une caméra qui possède deux embouts : un pour les surfaces lisses et un pour les surfaces occlusales (Pretty, 2006). L'image visualisée en échelle de gris sur un écran d'ordinateur peut être archivée (Figure 18). La DIFOTI remplace l'œil humain par un capteur CCD (Gomez, 2015). Cette technique est jugée plus sensible que les radiographies *bite-wing* pour la détection de caries précoces. Elle n'entraîne pas de ionisation, ne nécessite pas de film et donne un diagnostic en temps réel (Jensen et Faller, 2010). Cependant, étant basée sur l'observation et l'appréciation d'un examinateur, la DIFOTI reste un moyen de détection subjectif (Pretty, 2006).

La DIAGNOcam® (KaVo Dental) émet une lumière de longueur d'onde de 780 nm. La caméra est placée sur la dent, l'image est capturée et stockée (Tassery et coll., 2013) mais ne permet toujours pas la quantification de la lésion (Manton, 2013).



Figure 18 : lésion proximale vue avec le système DIFOTI (d'après Jensen et Faller, 2010)

Tableau 11 : avantages et inconvénients du système DIFOTI

Avantages	Inconvénients
Détection des caries précoces Détection possible au niveau de toutes les faces dentaires Différenciation entre carie de l'émail et de la dentine Economique Rapide Temps d'apprentissage court Matérialisation par une image Stockage des données possible	Prise de décision basée uniquement sur l'observation : moyen diagnostique subjectif

2.3 Techniques de fluorescence

La fluorescence est une émission lumineuse produite lorsque des molécules présentes à un état stable (solide ou liquide) sont éclairées par une source lumineuse de longueur d'onde variable. Notons que l'œil humain perçoit la lumière visible sur une bande spectrale de longueurs d'ondes allant de 380 nm à 720 nm.

Le phénomène de fluorescence peut être décomposé selon les étapes suivantes :

- a) Les photons (particules élémentaires de la lumière) fournis par une source lumineuse externe telle qu'un laser ou une lampe (à bande passante de longueur d'onde étroite) rayonnent sur les structures dentaires (émail et dentine).
- b) L'énergie apportée par la source d'excitation (LED ou LASER) à la dent (dentine) provoque une élévation d'énergie des particules élémentaires, qui deviennent instables.
- c) Pour revenir à un état stable, elles libèrent leur trop plein d'énergie en émettant des photons d'énergie inférieure à celle de l'excitation et de longueur d'onde supérieure (loi de Stokes) : c'est le phénomène de fluorescence.

Certaines molécules de l'organisme émettent une fluorescence sans intervention extérieure autre qu'une excitation lumineuse. Il est alors question d'autofluorescence ou de fluorescence endogène ; à la différence de la fluorescence induite ou exogène, qui utilise des fluorophores exogènes pouvant être administrés par voie générale ou topique.

Les différents systèmes de détection abordés dans ce chapitre utilisent le phénomène d'autofluorescence des fluorophores endogènes présents dans la dentine (Tassery, 2009).

2.3.1 Fluorescence induite par la lumière visible

- **Quantitative Light-induced Fluorescence (QLF)**

La QLF est un système qui utilise la lumière visible pour faciliter la détection des caries précoces et visualiser leur évolution (Pretty, 2006). L'appareil permet d'obtenir des images apportant des informations essentielles sur la zone (en mm²), la profondeur (ΔF en % de perte de fluorescence), le volume (ΔQ en % de mm²) et l'activité bactérienne en termes de hausse de la fluorescence rouge (ΔR en %) de la lésion (Jensen et Faller, 2010). Le système QLF peut être appliqué à toutes les faces dentaires, exception faite des faces proximales (Pretty, 2006).

L'équipement est constitué de l'InspektorTM Pro, introduit sur le marché en 2004 (Figure 19). La caméra intra-orale produit une lumière de longueur d'onde de 370 nm (lumière bleue) (Gomez, 2015 ; Pretty, 2006). Cette dernière, lorsqu'elle est appliquée contre une dent, entraîne l'émission d'une fluorescence verte, appelée autofluorescence (Jensen et Faller, 2010 ; Pretty, 2006). Les zones indemnes de caries sont à 100 % de la fluorescence. La source de l'autofluorescence de la dent se trouve au niveau de la JAD (Pretty, 2006). La déminéralisation de l'émail entraîne une réduction de cette autofluorescence par augmentation de l'effet de diffusion de la lumière. Les lésions apparaissent donc sous forme de zones sombres et non en vert (Gomez, 2015 ; Pretty, 2006) (Figure 20). Toute zone avec une perte de fluorescence supérieure à 5 % est considérée comme une lésion (Gomez, 2015 ; Guerrieri et coll., 2012 ; Pretty, 2006).



Figure 19 : équipement QLF, The InspektorTM Pro QLF (d'après Jensen et Faller, 2010)

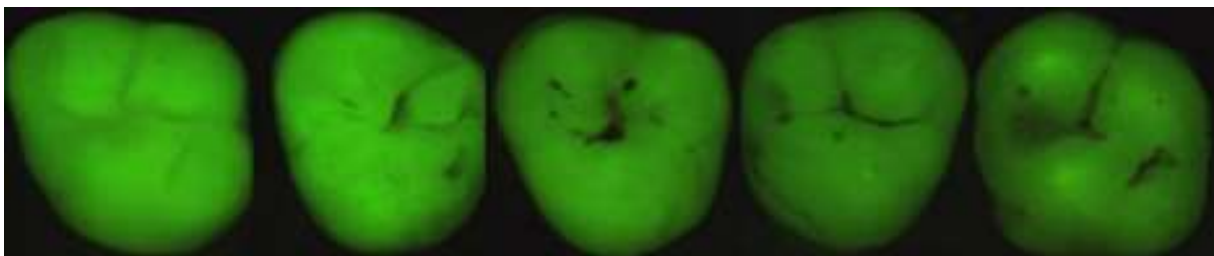


Figure 20 : images obtenues en QLF : (a) absence de lésion (b, c, d, e) les zones sombres indiquent les lésions carieuses (d'après Gomez, 2015)

Outre l'autofluorescence verte, la lumière bleue produit également une fluorescence rouge. Cette fluorescence est due aux porphyrines qui sont les produits du métabolisme des

bactéries présentes dans la dentine infectée. L'intensité de la fluorescence rouge semble donc être liée à l'activité desdites bactéries (Figure 21) (Jensen et Faller, 2010).

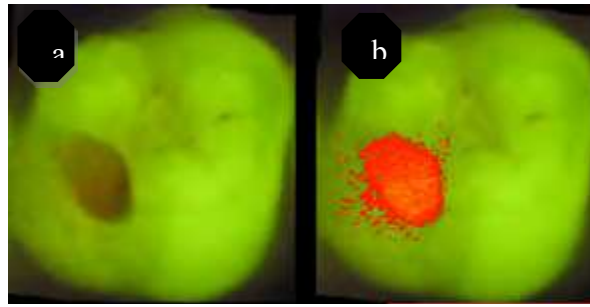


Figure 21 : exemple de fluorescence rouge en QLF (a) cavité occlusale (b) la fluorescence rouge révèle la présence de porphyrines et donc de dentine infectée (d'après Waller et coll., 2012)

Le plus grand avantage du système QLF réside dans le fait que les images acquises sont stockées (Pretty, 2006) et analysées par un logiciel, ce qui permet un suivi dans le temps (suivi longitudinal). Le logiciel actionne un repositionnement vidéo automatique qui autorise la récupération d'images QLF comparables dans le temps (Figure 22). Le logiciel peut également analyser des images enregistrées et fournir ainsi une évaluation objective des zones préoccupantes sur le long terme (Jensen et Faller, 2010). De part cette fonction, le système QLF est un bon outil pour la motivation du patient dans la phase prophylactique du traitement, ainsi que dans la recherche de reproductibilité des résultats.

Pour certains auteurs (Pretty, 2006 ; Tassery et coll., 2013), la sensibilité du système QLF est évaluée entre 0,5 et 0,68 et sa spécificité entre 0,7 et 0,9, tandis que pour d'autres (Gomez et coll., 2013) la sensibilité s'élève à 0,93 et la spécificité à 0,8 au niveau de la dentine. Au niveau de l'émail, la sensibilité est plus faible, alors que la spécificité est plus élevée par rapport aux résultats obtenus sur la dentine. Toutefois, les auteurs expliquent ce constat par la présence possible de tâches de fluorose qui pourraient fausser les résultats. Une corrélation de 82 % a été observée entre les mesures QLF et la profondeur des lésions (Pretty, 2006).

La fluorescence verte de la QLF a fait l'objet de nombreuses études qui lui ont été favorables. Ce système s'avère très efficace pour évaluer les phénomènes de déminéralisation et de reminéralisation dans le temps. La détection de la fluorescence rouge par le système QLF, pour sa part, est assez récente et la littérature n'est que peu fournie à ce sujet.

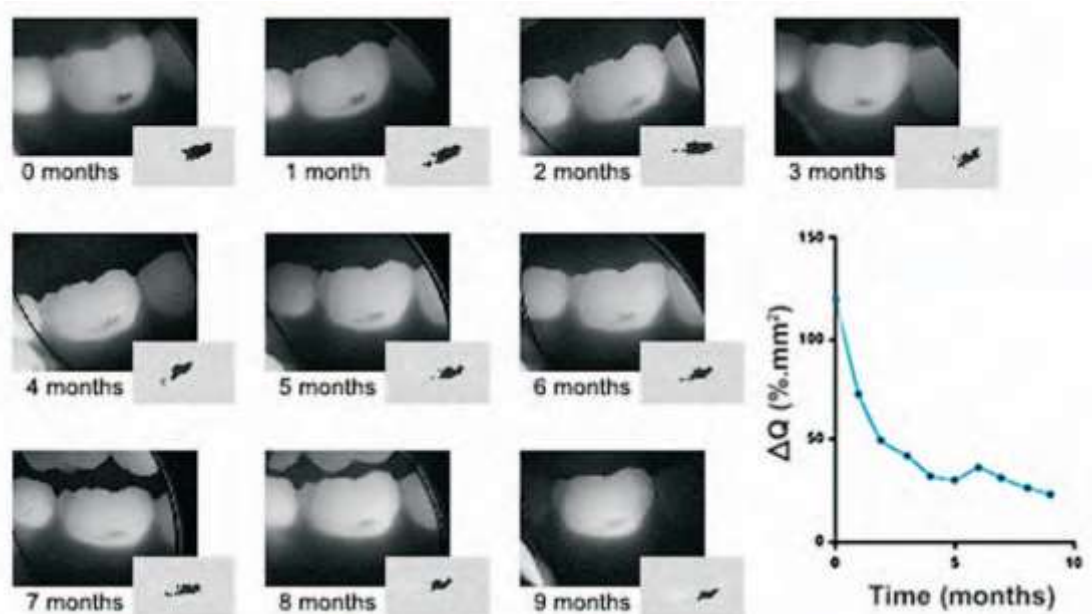


Figure 22 : suivi dans le temps de la reminéralisation d'une lésion blanche « white spot » (d'après Jensen et Faller, 2010)

Tableau 12 : avantages et inconvénients du système QLF

Avantages	Inconvénients
Détection des caries précoces au niveau des faces lisses et occlusales Détection et quantification des changements dans le contenu minéral de la dent Motivation des patients dans la phase prophylactique Reproductibilité des résultats Détection de l'activité bactérienne d'une lésion (fluorescence rouge)	Non utilisable pour la détection des caries sur les faces proximales Temps d'acquisition des données long et difficilement réalisable au cabinet

- **Fluorescence Aided for Caries Excavation (FACE)**

Fluorescence Aided for Caries Excavation ou « Eviction carieuse aidée par la fluorescence » est un système de pièce à main avec une lampe Xenon de 100-130 watts, qui produit une lumière violette (longueur d'onde d'environ 405 nm). Deux produits sont actuellement sur le marché : SIROInspect® (Sirona Dental) (Figure 23) et Facelight® (W&H). L'utilisation de ces deux appareils nécessite le port de lunettes de protection jaunes, qui produisent un filtre de 500-530 nm de longueur d'onde (Peskersoy et coll., 2015 ; Tassery et coll., 2013). Aucune image ne peut être capturée et donc sauvegardée (Tassery et coll., 2013).



Figure 23 : SIROInspect de Sirona (d'après Tassery et coll., 2013)

FACE n'est pas un système de détection de caries à proprement parler. Il représente une aide à l'excavation car il permet de faire la distinction entre la dentine infectée et la dentine affectée. Lors de l'excavation des tissus carieux, FACE fait apparaître les tissus sains en vert fluorescent contrairement à la dentine infectée qui, elle, apparaît en rouge orangé (Figure 27) (Lennon et coll., 2006 ; Peskersoy et coll., 2015 ; Tassery et coll., 2013). Le praticien peut alors aisément procéder à l'excavation de la dentine infectée sans avoir peur d'éliminer la dentine affectée. L'opération s'avère moins douloureuse pour le patient par rapport aux techniques conventionnelles et cette méthode réduit considérablement les risques d'effraction pulpaire, due notamment à une élimination injustifiée des tissus non infectés (Peskersoy et coll., 2015).

La sensibilité et la spécificité de FACE ont été évaluées récemment lors d'une étude *in vivo* à 0,89 et 0,80, respectivement (Peskersoy et coll., 2015).

D'autres études *in vitro* (Lennon, 2003; Lennon et coll., 2006, 2007; Peskersoy et coll., 2015) ont été menées pour tester l'efficacité de l'excavation avec FACE en comparaison avec une technique d'excavation classique (fraise en carbure de tungstène et contrôle de l'éviction à la sonde), une technique d'excavation chimique et une technique utilisant des colorants détecteurs de caries. Pour tester l'efficacité des techniques, les auteurs ont mesuré le temps nécessaire à l'excavation, ainsi que la charge bactérienne avant et après l'opération. Lennon et coll. (2006) ont révélé que la diminution de la charge bactérienne était presque identique entre la technique utilisant FACE comme aide à l'excavation et la technique d'excavation traditionnelle. Une étude antérieure (Lennon, 2003), quant à elle, a conclu à une diminution de la charge bactérienne plus importante dans la technique avec FACE que dans les autres techniques. Ces derniers résultats sont corroborés par une étude clinique menée par Peskersoy et coll. (2015). Toutes les études s'accordent à dire que l'utilisation de FACE réduit le temps d'excavation en comparaison aux autres techniques. Il est en moyenne de 3min30 (Lennon et coll., 2006), ce qui représente un avantage non négligeable dans l'exercice quotidien.

En résumé, FACE est une technique prometteuse qui permet de n'enlever que la dentine infectée tout en réduisant considérablement le temps opératoire. Cependant, très peu d'études ont été réalisées et il existe un réel manque de recul clinique.



Figure 24 : fluorescence rouge au niveau de la dentine infectée, visualisée avec le système FACE (d'après Tassery et coll., 2013)

Tableau 13 : avantages et inconvénients du système FACE

Avantages	Inconvénients
Temps opératoire réduit	Pas un moyen de détection des caries précoces
Différenciation entre dentine infectée et dentine affectée	Moyen de diagnostic subjectif car repose sur l'observation de l'opérateur
Traitement moins douloureux	Pas de matérialisation par une image donc pas de stockage des données
Diminution du risque d'effraction pulpaire	Pas de suivi de l'évolution d'une lésion carieuse
Prise en main simple	Pas de données chiffrées pour la prise de décision thérapeutique
Matériel peu encombrant	

- **Caméras LED**

- **SOPROLIFE®**

SOPROLife® (Acteon) est une caméra LED, basée sur le principe de l'autofluorescence des tissus dentaires. Le dispositif est composé d'une caméra intra-orale équipée d'un capteur d'images CCD de 0,25-inch (Figure 25) (Tassery et coll., 2013). L'image anatomique est visualisée directement sur un écran d'ordinateur sans recours à un logiciel de traitement. Les images capturées sont archivées grâce au logiciel SOPROImaging® et permettent de suivre l'évolution d'une lésion (Tassery, 2009; Tassery et coll., 2013). SOPROLife® est composé de deux types de diodes : les premières renvoient une lumière blanche, les secondes une lumière bleue de 450 nm de longueur d'onde (Erol, 2014 ; Gomez,

2015 ; Gugnani et coll., 2011 ; Rechmann et coll., 2012 ; Tassery et coll., 2013 ; Zeitouny et coll., 2014). Cette particularité lui permet de fonctionner selon trois modes : le mode « daylight » (lumière diurne), le mode « diagnostic » (fluorescence verte) et le mode « traitement » (fluorescence verte) (Tassery, 2009 ; Gomez, 2015 ; Gugnani et coll., 2011 ; Tassery et coll., 2008, 2013).

Le mode « daylight » permet une amplification (grossissement) de l'image de 30 à 100 fois (Tassery, 2009; Gugnani et coll., 2011; Tassery et coll., 2008).

Le mode « diagnostic » renseigne sur la présence de lésions et sur le potentiel carieux d'un site, ce qui permet de caractériser les lésions aux différents stades cliniques. Ce mode permet également un suivi personnalisé des patients dans le temps (Tassery, 2009).

Le mode « traitement » aide à la distinction entre la dentine infectée et la dentine affectée lors de l'éviction carieuse. Il permet également de vérifier l'absence de dentine infectée à la fin de la préparation (Tassery, 2009; Gugnani et coll., 2011; Tassery et coll., 2013).



Figure 25 : pièce à main SoproLife® (d'après Tassery et coll., 2008)

Le tableau 14 résume les différentes couleurs que l'on peut observer et leur signification histologique. À l'interface dentine infectée/affectée, seuls les tissus, qui sont facilement éliminés à l'aide d'un excavateur, sont considérés comme lésés (Tassery, 2009; Gugnani et coll., 2011).

Tableau 14: guide clinique de la couleur des tissus dentaires visualisés à l'aide de SOPROLife® (d'après le Livret clinique de SOPROLife® et Tassery et coll., 2013)




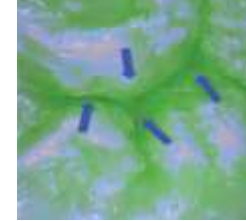








Email	Dentine	Dentine infectée		Interface dentine infectée/affectée		Dentine affectée (fin de traitement)	
Tissus sains		Lésion Active	Lésion Inactive	Lésion Active	Lésion Inactive	Lésion Active	Lésion Inactive
Vert clair à bleu ciel	Vert acidulé	Vert noir	Vert noir	Rouge vif	Rouge brun	Vert terne	Vert terne avec voile rouge

La sensibilité et la spécificité de SOPROLife® ont fait l'objet de plusieurs études. Pour certains auteurs (Tassery et coll., 2013), elles sont respectivement à 0,93 et 0,63, tandis qu'elles sont à 0,87 et 0,99 pour d'autres (Zeitouny et coll., 2014). Dans leur étude de 2012, Rechmann et coll. ont mesuré la sensibilité et la spécificité de façon distincte pour le mode « daylight » et pour le mode « fluorescence ».

Les études *in vitro* et *in vivo* s'accordent à dire que la caméra SOPROLife® n'est pas forcément meilleure qu'une technique visuelle de diagnostic telle que ICDAS II mais qu'elle représente une aide efficace au diagnostic et à l'éviction carieuse sélective. En effet, elle permet de diagnostiquer des caries précoces de l'émail sur toutes les faces dentaires et de faire facilement la différenciation entre dentine infectée et dentine affectée (Erol, 2014; Gomez et coll., 2013; Zeitouny et coll., 2014). À ce jour SOPROLife® est l'unique système qui peut être utilisé à la fois au moment du diagnostic et au moment du traitement (Gugnani et coll., 2011). Le système SOPROLife® représente une aide au diagnostic considérable (Tassery, 2009; Gugnani et coll., 2011; Tassery et coll., 2008, 2013).

Le tableau 15 présente les différents stades du développement carieux visualisés à l'aide de la caméra SOPROLife®, ainsi que leur correspondance avec les critères de la classification ICDAS II.

Tableau 15 : les différents stades du développement carieux, correspondance entre les critères ICDAS II et SOPROLife® en mode « daylight » et en mode « diagnostic » au niveau des surfaces occlusales
(modifié d'après Rechmann et coll., 2012)

Score	Description ICDAS II	Description en mode « daylight »	Description en mode « diagnostic »
0	Surfaces saines, pas de changement visible	Surfaces saines, pas de changement visible 	Surfaces saines, sillon vert brillant 
1	Premier changement visible dans l'émail	Opacification de l'émail au niveau du sillon, aspect crayeux 	Minuscule brillance rouge dans les sillons, pas de points rouges visibles 
2	Changement bien distinct dans l'émail	Extension de l'opacification au niveau des crêtes sur tout ou partie du sillon, pas de rupture visible dans l'émail 	Apparition de points rouge foncé confinés aux puits et fissures 
3	Micro cavitation de l'émail	Dans le sillon, l'émail est rugueux et légèrement ouvert, pas de signes d'extension à la dentine 	Zones rouge foncé étendues, confinées au sillon, légère rugosité observée 
4	Ombre sous-jacente dans la dentine avec ou sans cavitation	Processus carieux s'étend au-delà des sillons, aspect nacré brillant 	Zones rouge foncé étendues au-delà des sillons, zones gris foncé visibles 
5	Cavité bien distincte avec dentine apparente	Rupture dans l'émail avec dentine apparente 	Cavité évidente au niveau de l'émail avec dentine apparente 

Les figures 26 et 27 schématisent la prise de décision après les observations à l'aide du mode « daylight » et du mode « diagnostic » des faces occlusales et proximales.

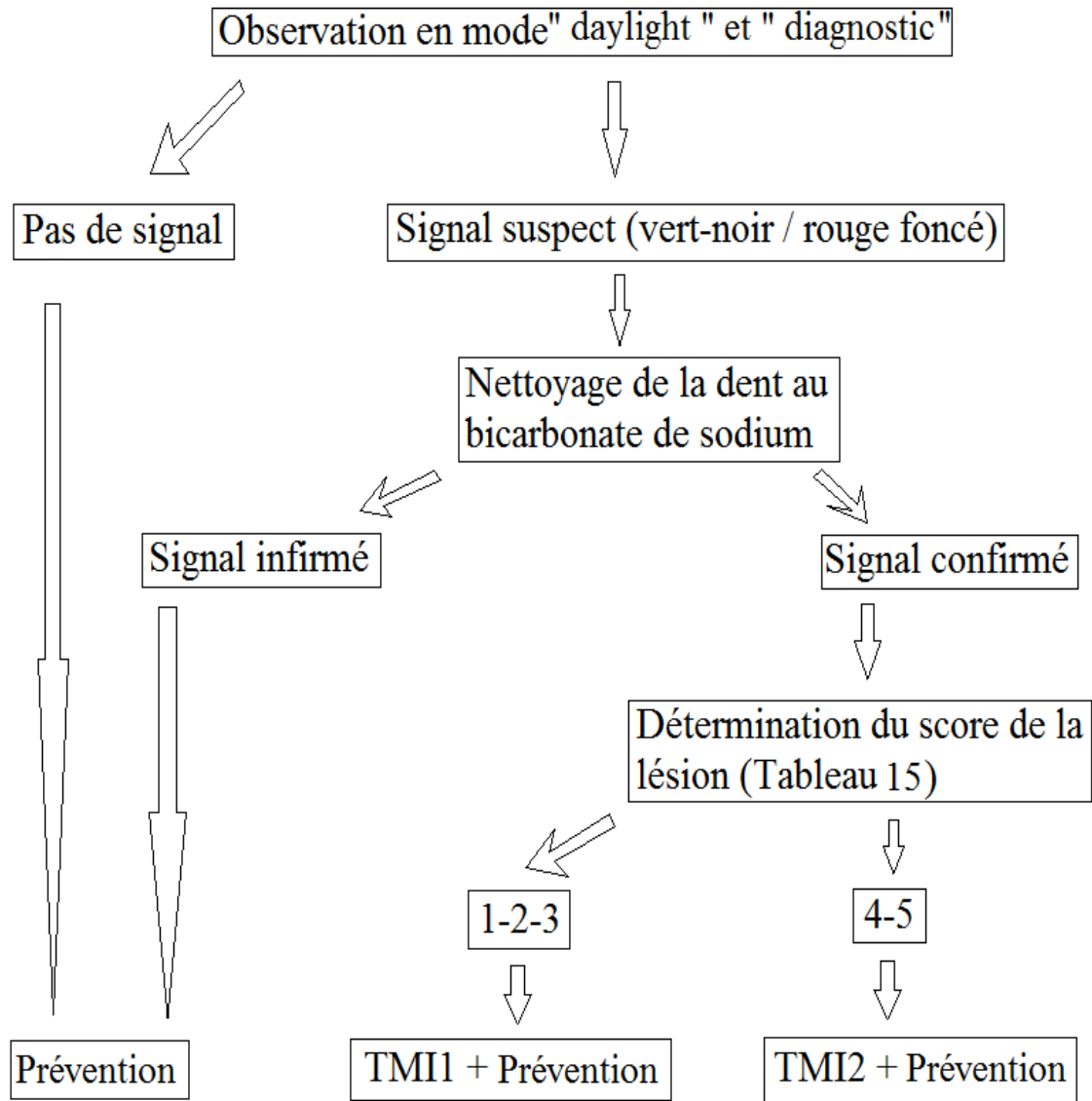


Figure 26 : schéma décisionnel pour les faces occlusales avec la caméra SopranoLife® ; TMI1 : techniques micro-invasives de type 1 (sans préparation cavitaire) ; TMI2 : techniques micro-invasives de type 2 (avec préparation cavitaire)

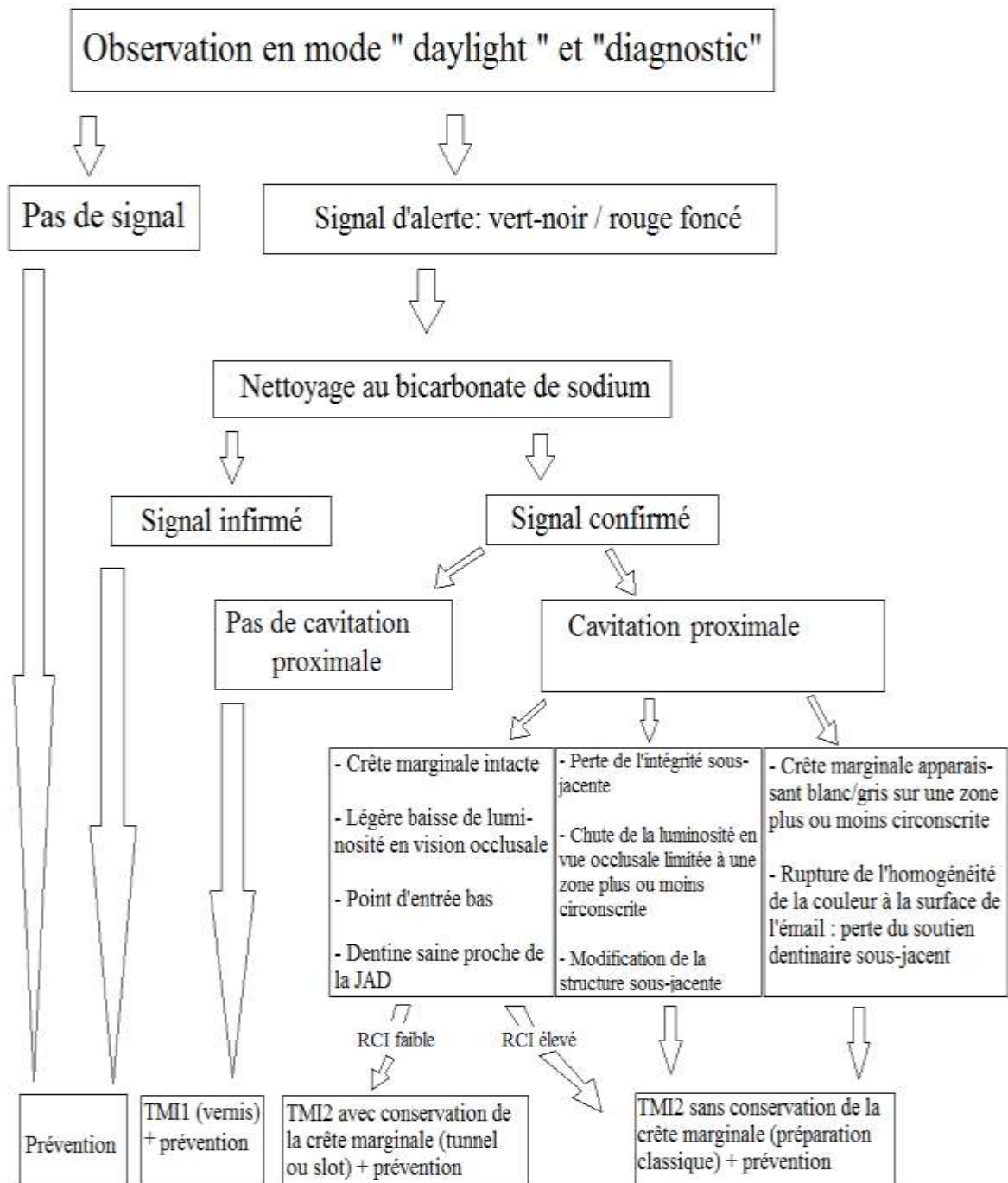


Figure 27 : schéma décisionnel pour les faces proximales avec la caméra SoproLife®

Acteon a mis récemment sur le marché une nouvelle caméra LED, appelée SOPROCARE®, basée sur le même principe que la caméra SOPROLIFE®. Elle possède 3 modes : le mode « daylight », le mode « carie » et le mode « parodontal », qui se focalise sur l'inflammation gingivale. En mode « carie », la dentine infectée apparaît en rose-rouge, les tissus sains en gris (Figure 28) (Tassery et coll., 2013).

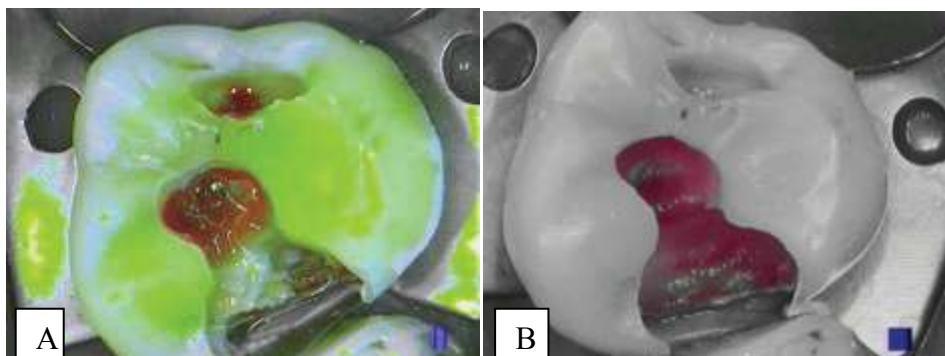


Figure 28 : la même cavité observée avec a) SOPROLIFE en mode « traitement » b) SOPROCARE en mode « carie » (d'après Tassery et coll., 2013)

Tableau 16 : avantages et inconvénients du système SOPROLIFE®

Avantages	Inconvénients
Double fonction : diagnostic et aide à l'excavation Détection des caries au niveau de toutes les faces dentaires Différenciation entre carie de l'émail et carie de la dentine Différenciation entre dentine infectée et dentine affectée : évite les effractions pulpaire Images de haute résolution en lumière du jour et en lumière fluorescence : évite le sur-traitement Pas de logiciel de traitement des couleurs, mais une image anatomique magnifiée Images stockées pouvant être comparées	Pas de données chiffrées pour la prise de décision Nécessite un temps d'apprentissage pour la prise en main

➤ **VistaProof®**

VistaProof® est une caméra LED commercialisée par Dürer Dental depuis 2007 (Jablonski-Momeni et coll., 2011, 2013). Elle produit une lumière bleue de longueur d'onde 405 nm (Achilleos et coll., 2013; Betrisey et coll., 2014; Jablonski-Momeni et coll., 2011; Melo et coll., 2015). En mode « carie », un logiciel spécifique (Dürer DBSWIN) (Achilleos et coll., 2013; Jablonski-Momeni et coll., 2011, 2013) filtre la fluorescence émise par les tissus dentaires pour quantifier la lésion et ensuite, en déduire une valeur numérique allant de 0 à 3

(De Benedetto et coll., 2011) selon un ratio de fluorescence verte et rouge (Tableau 17) (Betrissey et coll., 2014; Jablonski-Momeni et coll., 2011).

Tableau 17 : valeurs « seuil » indiquées par le fabricant (modifié d'après la notice de montage et d'utilisation de VistaProof®, Dürr Dental et Achilleos et coll., 2013)

Valeurs	<1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	2,0 - 2,5	> 2,5
Couleur					
Signification	Tissus sains	Carie débutante de l'émail	Carie profonde de l'émail	Carie de la dentine	Carie profonde de la dentine

Cependant, les tests *in vitro* de Jablonski-Momeni et coll. (2011, 2012 et 2013) ont montré que la valeur « seuil » pour l'atteinte carieuse dentinaire serait autour de 1,5.

Les images obtenues (Figure 29) sont sauvegardées, ce qui permet un suivi et une meilleure communication avec le patient (Betrissey et coll., 2014; Jablonski-Momeni et coll., 2011). Avant de procéder aux mesures, il est impératif de réaliser un nettoyage des dents, car les dépôts organiques peuvent être à l'origine de faux positifs (Betrissey et coll., 2014). Les discolorations ou les résidus de pâte prophylactique peuvent également engendrer des résultats faussement positifs (Achilleos et coll., 2013). La tête de la pièce à main est recouverte d'un capuchon en plastique servant à maintenir une égale distante entre la caméra et la dent à tout moment, mais également à filtrer la lumière ambiante (Achilleos et coll., 2013).

Les études *in vitro* montrent une grande reproductibilité inter et intra-examineur (Achilleos et coll., 2013; Jablonski-Momeni et coll., 2011, 2013). On ne constate pas de différence significative entre un examinateur expérimenté et non expérimenté (Jablonski-Momeni et coll., 2011, 2013). Toujours *in vitro*, la sensibilité est évaluée à 0,97 et la spécificité à 0,5 (Achilleos et coll., 2013). Selon une étude financée par Dürr Dental (Ganter et coll., 2014), VistaProof® serait une aide précieuse lors de l'excavation carieuse car il permet de faire la distinction entre la dentine infectée et la dentine affectée.

Cependant, ce dispositif présente également certaines limites. Il n'est pas fait pour le diagnostic des lésions carieuses au niveau des faces proximales (Jablonski-Momeni et coll., 2011). Son utilisation nécessite un séchage de 15 secondes des surfaces dentaires (De Benedetto et coll., 2011) et une luminosité ambiante faible (Jablonski-Momeni et coll., 2011) pour avoir de meilleures mesures. Au regard du faible nombre d'études réalisées sur les performances de VistaProof®, il n'y a pas de consensus dans la littérature quant aux valeurs « seuil » (Betrissey et coll., 2014).

Dans l'ensemble, VistaProof® se présente tout de même comme un moyen de détection efficace des caries occlusales lorsqu'il est utilisé en complément des examens visuel et radiologique habituels (Betrisey et coll., 2014; Jablonski-Momeni et coll., 2011).

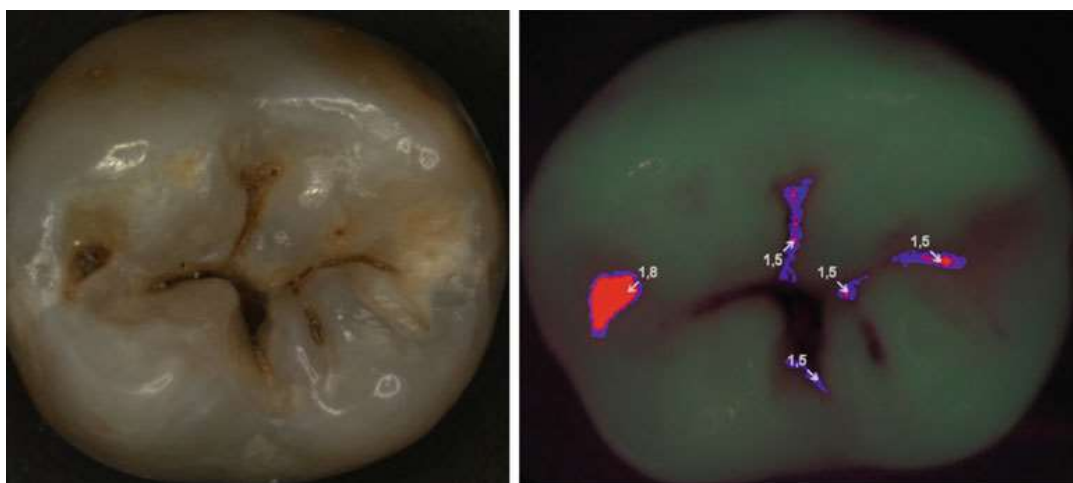


Figure 29 : image de la face occlusale d'une molaire et son image correspondante visualisée avec VistaProof®. Les numéros indiquent la profondeur et l'étendue de la lésion (d'après Jablonski-Momeni, 2011)

Tableau 18:avantages et inconvénients de VistaProof®

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> Donne une image anatomique de la dent Les données acquises peuvent être enregistrées Permet une meilleure communication avec le patient dans la phase de motivation à l'hygiène Permet un suivi des lésions dans le temps Ne nécessite pas d'avoir beaucoup d'expérience Moyen objectif de diagnostic car donne des valeurs numériques 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de consensus pour les valeurs « seuil » Ne permet pas la détection des caries proximales Nécessite un logiciel de traitement Nécessite la réduction de l'éclairage ambiant

➤ VistaCam iX®

Commercialisé depuis 2011, cet appareil de Dürer Dental est une version moderne de VistaProof®. La VistaCam iX® comporte plusieurs têtes interchangeable : la tête « HD », qui permet de magnifier l'image enregistrée par la caméra (Figure 30) (à l'image du mode « daylight » de Soprolife®) ; la tête « Proof », qui possède les mêmes caractéristiques que son prédécesseur et la tête « Proxi », qui permettrait la détection de caries proximales. Cette dernière envoie une lumière infrarouge et les tissus sains apparaissent comme translucides alors que les lésions carieuses apparaissent opaques (Dürer Dental). Une seule étude (Jablonski-Momeni et coll., 2013), menée *in vitro* a comparé l'efficacité de la tête « Proof » de VistaCam iX et la VistaProof. Elle a montré des résultats équivalents entre les deux dispositifs (Jablonski-Momeni et coll., 2013).

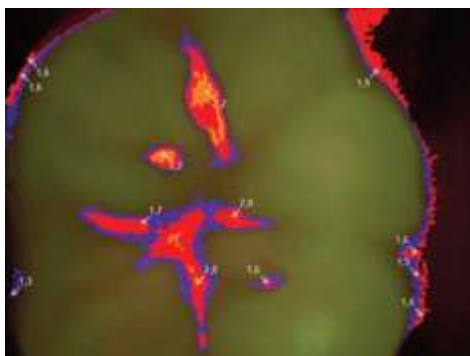


Figure 30 : image d'une carie occlusale avec ses scores respectifs (d'après Tassery et coll., 2013)

2.3.2 Fluorescence induite par les lasers

- **The DIAGNOdent®**

DIAGNOdent 2095 (DD) et DIAGNOdent 2190 (DIAGNOdent Pen) (DD Pen) sont deux appareils développés et commercialisés par KaVo Dental et qui fonctionnent sur le même principe. La pièce à main est dotée d'une sonde laser qui produit une lumière de 655 nm de longueurs d'onde. Cette lumière provoque la fluorescence des porphyrines qui sont des métabolites des bactéries présentes dans la dentine infectée (Jablonski-Momeni et coll., 2012; Tassery et coll., 2013; Moriyama et coll., 2014). L'intensité de la fluorescence, proportionnelle à l'intensité de l'activité bactérienne (Betrisey et coll., 2014; Pretty, 2006), est capturée, analysée et quantifiée par l'appareil (Moriyama et coll., 2014). Il est important de calibrer l'appareil sur un disque de céramique avant son utilisation et sur une surface d'émail sain à chaque nouveau patient (KaVo Dental).

Tandis que le DD ne dispose que d'une seule sonde pour la détection des caries au niveau des surfaces occlusales et lisses, le DD Pen en possède deux : la sonde « fissure » pour les sillons et les surfaces lisses et la sonde « approx » pour les faces proximales (De Benedetto et coll., 2011; KaVo Dental; Pretty, 2006). La sonde « fissure » est cylindrique avec une surface de 1 mm² (Betrisey et coll., 2014) alors que la sonde « approx » est prismatique (Lussi et Hellwig, 2006). DD et DD Pen ne donnent pas une image de la dent, mais des valeurs numériques affichées sur deux petits écrans LED (Betrisey et coll., 2014; Pretty, 2006). Le premier écran affiche la valeur de la mesure actuelle : valeur « moment » ; le second la valeur la plus élevée de toute la mesure : valeur « peak » (Betrisey et coll., 2014; KaVo Dental; Pretty, 2006).

Les valeurs obtenues vont de 0 à 99 (Jablonski-Momeni et coll., 2012). Une échelle avec des valeurs « seuil » a été établie par le fabricant pour faciliter la prise de décision thérapeutique (Tableau 18). Elle n'est pas la même pour le DD et pour le DD Pen (De Benedetto et coll., 2011). Il existe deux valeurs « seuil » importantes : une valeur « seuil » pour la distinction entre les tissus sains et les tissus lésés (D₀-D₁₋₄) et une valeur « seuil » pour la distinction entre une lésion de l'émail et une lésion de la dentine (D₀₋₂-D_{3,4}).

Tableau 19 : échelle d'interprétation des valeurs obtenues avec DIAGNOdent Pen et leurs recommandations thérapeutiques (modifié d'après le mode d'emploi DIAGNOdent Pen)

Valeurs occlusales	0-12	13-24	≥ 25
Valeurs proximales	0-7	8-15	≥ 16
Signification	Tissus sains D ₀	Atteinte de l'émail D _{1,2}	Atteinte de la dentine D _{3,4}
Recommandations	Mesures de prophylaxie normale (dentifrice fluoré)	TMI type 1 (sans préparation cavitaire)	TMI type 2 (avec préparation cavitaire à minima)

Cependant, certaines études (Lussi et Hellwig, 2006 ; Huth et coll., 2008 et 2010) montrent des valeurs « seuil » plus basses en comparaison à celles données par le fabricant.

Tableau 20 : valeurs "seuil" pour les faces occlusales et les faces proximales d'après des études in vitro et in vivo° (d'après Lussi et Hellwig, 2006 ; Huth et coll., 2008 et 2010)*

Valeurs occlusales	0-6*°	6,1-17*°	> 17*°
Valeurs proximales	0-7* 0-7°	7,1-19* 7,1-16°	> 19* > 16°
Signification	Tissus sains D ₀	Atteinte de l'émail D _{1,2}	Atteinte de la dentine D _{3,4}

De nombreuses études ont été réalisées pour mesurer la sensibilité et la spécificité de DD et DD Pen au niveau des faces occlusales. Pour le DD, la sensibilité et la spécificité sont respectivement évaluées à 0,81-0,96, et 0,69-0,79, tandis qu'elles sont de 0,78-0,91 et 0,71-0,89 pour le DD Pen. On peut en conclure que, *in vitro*, le DD Pen est aussi performant que le DD pour la détection des lésions occlusales (Lussi et Hellwig, 2006).

Au niveau des dents temporaires, il existe une grande corrélation entre les résultats obtenus avec le DD et ceux obtenus avec le DD Pen même si le DD Pen enregistre des mesures significativement plus élevées (De Benedetto et coll., 2011). Le DD Pen offre des résultats *in vivo* et *in vitro* comparables avec une bonne corrélation avec la méthode ICDAS. Il fournit des résultats cliniquement exactes, mais avec une reproductibilité modérée. Il doit

être utilisé avec précaution dans la détection des lésions précoces au stade pré-cavitaire au niveau des dents temporaires (Teo et coll., 2014).

Au niveau des dents permanentes, le DD et le DD Pen présentent une bonne reproductibilité inter et intra-examineur pour la détection des caries au niveau des surfaces lisses (Moriyama et coll., 2014) ainsi qu'au niveau des faces occlusales (Achilleos et coll., 2013). Au niveau de ces dernières, le DD semble être inefficace dans la surveillance de la reminéralisation (Silva et coll., 2007), tandis qu'au niveau des surfaces lisses, le DD et le DD Pen montrent des résultats encourageants dans le suivi des phénomènes de déminéralisation ou de reminéralisation (Moriyama et coll., 2014). Certains auteurs (Achilleos et coll., 2013; Reis et coll., 2006) considèrent que le DD et le DD Pen sont plus efficaces dans la détection des caries dentinaires qu'amélares. Pour Huth et coll. (2008), en revanche, la sensibilité et la spécificité sont légèrement plus importantes pour les caries de l'émail (0,88 et 0,85 respectivement) que pour les caries de la dentine (0,67 et 0,79 respectivement). Pour les lésions proximales, il n'y a pas de différence significative entre les stades D_{1,2} et D_{3,4} (Huth et coll., 2010). Dans l'ensemble, le DD Pen peut être recommandé comme un outil additionnel pour la détection des caries occlusales (Huth et coll., 2008) et proximales au stade pré-cavitaire (Huth et coll., 2010) sur dents permanentes.

Tableau 21: avantages et inconvénients du DIADNODent et du DIAGNODent Pen

Avantages	Inconvénients
Moyen objectif de diagnostic grâce à des valeurs numériques	DD : uniquement pour la détection des lésions au niveau des faces occlusales et lisses
Détection des caries amélares et dentinaires	Pas d'image
Prise en main rapide	Pas d'enregistrement de données
Bonne reproductibilité intra et inter-examineur	

- **Radiométrie photothermale et luminescence (PTR/LUM)**

Cette technologie est matérialisée par le système Canary® (Quantum Dental Technologies Inc.). Ce système utilise un laser pulsé de faible intensité pour scanner la dent et visualiser les éventuelles lésions carieuses (Tassery et coll., 2013; Abrams, 2014). L'énergie du laser est transformée en chaleur (PTR) et en lumière (LUM) au contact des surfaces dentaires (Abrams, 2013, 2014; Tassery et coll., 2013). Les lésions carieuses modifient les propriétés thermales ainsi que la brillance de la dent. En effet, la chaleur se concentre au niveau de la lésion (donc on constate un pic de PTR), tandis que la luminosité de cette zone

diminue (Abrams, 2013, 2014 ; Hellen et coll., 2011). Le dispositif est capable de détecter des changements minimes de l'ordre d'un ou deux degrés Celsius (Abrams, 2013). En plus de l'image apparaissant à l'écran du dispositif, un « nombre Canary » pouvant aller de 0 à 100 est obtenu pour chaque zone scannée grâce à un algorithme (Abrams, 2014b). Ce nombre s'inscrit dans une échelle, qui serait une aide à la prise de décision. Pour un nombre compris entre 0 et 20, les tissus sont considérés comme sains ; entre 20 et 70, une lésion est présente et au-delà de 70, il existe une lésion très étendue (Abrams, 2013, 2014a, 2014b). Cependant, sur le plan histologique, cette échelle est un peu floue et mériterait d'être plus approfondie pour être vraiment considérée comme une aide au diagnostic et à la prise de décision (Jallad et coll., 2015).

L'association du signal PTR et LUM permet de détecter des lésions aussi petites que 50 µm (Tassery et coll., 2013) et jusqu'à 5 mm en-dessous de la surface de l'émail (Abrams, 2013, 2014a; Tassery et coll., 2013). Cette association permet également de suivre et de quantifier les phénomènes de déminéralisation et reminéralisation (Hellen et coll., 2011). En effet, le système permet de détecter des changements précoces dans la structure des cristaux d'hydroxyapatite (Abrams, 2013, 2014a).

D'après les constructeurs et le Dr Abrams, très impliqué dans le développement du système Canary®, celui-ci serait capable de détecter des caries vraiment précoces au niveau des sillons, des surfaces lisses, des surfaces proximales, autour des joints des restaurations et en-dessous des *sealants* (Abrams, 2013, 2014a).

Jallad et coll. (2015) lors d'une étude *in vitro* ont évalué la spécificité de cette technique à 0,43 ; augmentant de ce fait le risque de sur-traitement. Toujours lors de cette étude, ils ont mis en évidence une reproductibilité moyenne de la technique. En effet, le Canary® serait sensible à l'angulation. De plus, la valeur du seuil « clinique » entre tissus sains et carie serait plutôt de 25 et non de 20 comme annoncé par le constructeur.

Tableau 22 : avantages et inconvénients du système Canary®

Avantages	Inconvénients
Détection des caries précoces de petite taille <ul style="list-style-type: none"> ➤ sur toutes les surfaces ➤ autour des restaurations ➤ en-dessous des <i>sealants</i> Suivi et quantification des phénomènes de déminéralisation et reminéralisation Données pouvant être sauvegardées et servir de comparaison Communication facilitée avec le patient	Echelle décisionnelle peu précise Peu d'études et de recul sur le sujet Nécessite des lunettes de protection pour le praticien et pour le patient

2.4 Courant électrique

Il existe deux types de dispositifs qui utilisent le courant électrique pour la détection des caries : *Electronic Caries Monitor* (ECM) et *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS, commercialisé sous le nom de CarieScan®).

L'ECM utilise un courant alternatif à fréquence fixe (23 Hz) (Gomez, 2015; Pretty, 2006), tandis que l'EIS utilise toute une gamme de fréquences (Pretty, 2006). Les deux systèmes fournissent des informations sur l'impédance ou la résistance des tissus (Pretty, 2006; Tassery et coll., 2013). La dentine est plus conductrice que l'émail, car elle est plus poreuse et contient plus de liquide. Il en est de même au niveau des lésions carieuses (Pretty, 2006).

L'ECM permet de réaliser une mesure d'un site ou d'une surface entière. La sensibilité et la spécificité sont évaluées respectivement à 0,65 et à 0,73 (Tassery et coll., 2013). Plusieurs facteurs peuvent influencer les mesures comme la température de la dent, l'épaisseur du tissu mesuré, l'hydratation et la surface de la zone (Pretty, 2006). Il semblerait que la dentine soit un tissu plus adapté aux mesures de l'ECM que l'émail. De bons résultats sont également obtenus pour des lésions de site 3 pour lesquelles le dispositif fournit un suivi longitudinal lors des phénomènes de déminéralisation/reminéralisation (Pretty, 2006).

L'EIS fournit des valeurs sur une échelle allant de 0 à 100. Ces valeurs sont proportionnelles à la sévérité de la lésion. Pour le CarieScan® les valeurs « seuil » sont de 21 pour la distinction entre tissus sains et tissus lésés (D_0 - $D_{1,4}$) et de 91 pour la distinction entre une lésion de l'émail et une lésion de la dentine ($D_{1,2}$ - $D_{3,4}$) (Tassery et coll., 2013). Cependant, pour ces valeurs « seuil » il a été constaté une haute sensibilité et une spécificité négligeable *in vitro* comme *in vivo*. Ceci laisse penser que l'EIS différencie difficilement un tissu sain d'un tissu lésé. Les valeurs « seuil » optimales qui ont été retenues sont 51 pour le stade D_1 et 71 pour le stade D_3 . En comparaison à ICDAS et au DIAGNOdent Pen, le CarieScan® possède d'assez faibles performances (Teo et coll., 2014). Une autre étude réalisée *in vivo* a cependant montré de bons résultats (sensibilité à 0,92 et spécificité à 0,75) avec une valeur « seuil » pour un stade D_1 à 21,5 (Melo et coll., 2015). Cette technique nécessite d'autres études pour prouver son efficacité.

2.5 Tomographie en cohérence optique

La tomographie en cohérence optique ou *Optical Coherence Tomographie* (OCT) est une technique d'imagerie non invasive, non irradiante, fondée sur le principe de l'interférométrie optique. Elle permet, grâce à un faisceau lumineux de faible cohérence, d'obtenir une image tridimensionnelle d'un matériau (un tissu biologique) qui diffuse la lumière (Gomez et coll., 2013) avec une résolution de l'ordre du micron. Le faisceau initialement émis, habituellement compris dans l'infra-rouge proche (1310 nm de longueurs d'onde) (Tassery et coll., 2013), est ensuite séparé en deux faisceaux. Ces derniers sont réfléchis, l'un au niveau du tissu cible et l'autre, au niveau d'un miroir de référence (Gomez et coll., 2013). Ces deux informations sont combinées pour obtenir une image en deux dimensions (2D). Les différentes coupes superposées forment l'image en 3D (Shimada et coll., 2015).

L'OCT est capable de détecter des caries précoces (Pretty, 2006), de quantifier la profondeur de la lésion et la perte de substance minérale au niveau de l'émail ou de la dentine (Figure 31) (Shimada et coll., 2015). Deux phénomènes sont observés au niveau des tissus déminéralisés : une augmentation de la diffusion de la lumière et une dépolarisation du faisceau de lumière incident. Une lésion se traduit par une zone plus brillante sur l'échelle de gris (Shimada et coll., 2015). De plus, l'OCT peut aider à localiser un canal mésio-vestibulaire secondaire (du moins *in vitro*) (Shimada et coll., 2015).

Au niveau de l'émail, la sensibilité et la spécificité de l'OCT ont été évaluées respectivement à 0,95 et 0,39, tandis qu'au niveau de la dentine elles sont à 0,32 et 0,98 (Gomez et coll., 2013). Le principal avantage de l'OCT est qu'il peut donner une image de haute définition de la dent sans effet d'ionisation (Shimada et coll. 2015). Cependant, d'autres études sont nécessaires pour que le système soit adapté à une utilisation clinique (Gomez et coll., 2013).

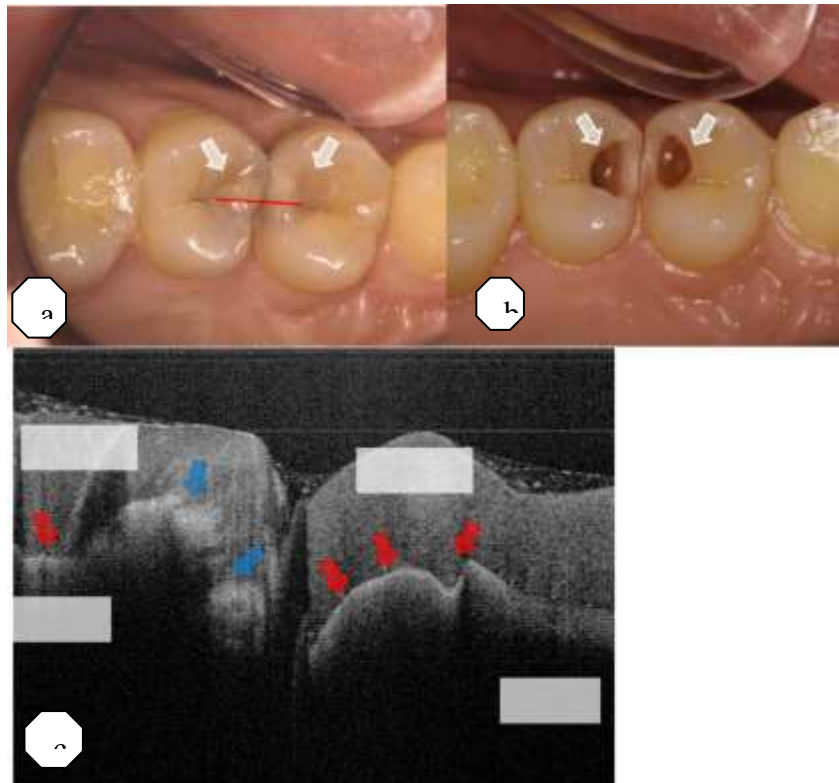


Figure 31: lésions carieuses sur première et deuxième prémolaires. (a) vue occlusale avant le traitement chirurgical. Des ombres indiquant la présence de carie sont observées (flèches blanches). (b) vue occlusale pendant la préparation : présence de lésions profondes avec une dentine infectée. (c) coupe en OCT le long de la ligne rouge sur l'image (a) avant la préparation. La zone brillante (flèches bleues) indique une diffusion de la lumière augmentée au niveau des tissus déminéralisés et poreux. Les flèches rouges indiquent la lésion carieuse (d'après Shimada et coll., 2015)

2.6 Détecteurs de carie

Les détecteurs de caries (DC) sont faits de deux composants : le colorant et le solvant, du propylène glycol la plupart du temps (Javaheri et coll., 2010). Ils mettent en évidence la dentine infectée sans colorer ni la dentine affectée ni les tissus minéralisés (McComb, 2000). La technique consiste en l'élimination de tous les tissus lésés colorés par le DC à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène, montée sur contre-angle réducteur (McComb, 2000). Il semblerait que le DC colore la matrice déminéralisée et non les tissus infectés par les bactéries (Javaheri et coll., 2010). L'absence de coloration ne prouve pas l'absence de bactéries. Le DC peut également colorer la dentine saine circum-pulpaire et la JAD (McComb, 2000). Un colorant de poids moléculaire plus important a été mis sur le marché dans les années 2000, le *Caries Check* (CC). Ce poids moléculaire est censé empêcher la pénétration en profondeur des tissus par les *tubuli* dentinaires. Le CC a une sensibilité de 0,71 et une spécificité de 1. Cependant, il ne peut être utilisé seul pour la détection des caries

(Javaheri et coll., 2010). L'utilisation de DC lors de l'éviction carieuse est l'une des techniques les moins conservatrices, car elle engendre beaucoup de sur-traitement (Neves et coll., 2011b).

Tableau 23 : principaux avantages des différents systèmes de diagnostic (d'après Tassery et coll., 2013)

Principaux systèmes	Inspection visuelle	Valeur numérique	Amplification	Enregistrement de données	Plan de traitement	Suivi de l'activité
QLF®	+	+	+	+++	+	+/-
DIAGNOcam®	+	-	++	+++	-	-
DIAGNOdent®	-	+	-	-	-	-
VistaProof®	++	+	++	+++	?	+
Vistascan iX®		+	++	+++	?	+
Canary®	+/-	+	+/-	++	-	+
SiroInspect®	+	-	-	-	+	+
SoproLife®	+++	-	++++	+++	+++	+++

3 TECHNIQUES OPERATOIRES

3.1 Prévention

3.1.1 Enseignement à l'hygiène buccale et au contrôle de plaque

Pour l'ensemble de la population, la HAS rappelle l'importance d'un brossage des dents au minimum deux fois par jour avec un dentifrice fluoré ayant une teneur en fluor adaptée à l'âge. (HAS, 2010)

L'UFSBD rejoint ces recommandations : elle préconise un brossage de deux minutes deux fois par jour au minimum selon la technique BROS (Figure 32). Ce brossage sera complété le soir par le passage du fil dentaire (Figure 33) dès qu'il y a présence d'un point de contact entre deux dents. Il n'y a cependant aucune recommandation en rapport avec la brosse à dents électrique.



Figure 32: technique de brossage BROS (d'après UFSBD, 2013)



Figure 33 : technique FIL pour passer le fil dentaire (d'après UFSBD, 2013)

3.1.2 Conseils nutritionnels

(HAS, 2010)

La relation entre les sucres fermentescibles et la carie ayant été démontrée, la prévention de la lésion carieuse passe donc par la réduction de la quantité de sucre consommé mais surtout de la fréquence de ces consommations.

Les recommandations du Plan National Nutrition Santé (PNNS), de l'Association Dentaire Française (ADF), de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA), de la Société Française d'Odontologie Pédiatrique (SFOP) et de l'Union Française pour la Santé Bucco-Dentaire (UFSBD) préconisent de :

- Réduire la fréquence des prises alimentaires entre les repas (grignotage, y compris boissons sucrées). En ce sens la collation matinale en collectivité doit être supprimée.
- Favoriser une alimentation variée et équilibrée au cours des repas et une consommation d'eau pure.
- Utiliser des gommes à mâcher contenant du xylitol après chaque prise alimentaire ou consommation de boisson sucrée ne pouvant être suivie par un brossage des dents.

En complément de ces recommandations, la HAS recommande la généralisation de la substitution du sucre par un édulcorant dans les médicaments.

De plus, la HAS recommande l'utilisation du sel iodé et fluoré plutôt que du sel non fluoré dans le respect du PNNS.

3.1.3 Scellement prophylactique des puits et fissures

La HAS définit le scellement prophylactique des sillons comme « un acte non invasif visant à combler les sillons avec un matériau adhésif fluide. Il réalise une barrière physique étanche, lisse et plane, qui s'oppose à l'accumulation de plaque bactérienne au contact de la surface amélaire protégée et qui prévient la déminéralisation acide à ce niveau. » Il est indiqué dans les cas d'un RCI élevé (HAS, 2005).

Les matériaux utilisables pour le scellement sont les résines composites photopolymérisables contenant ou non une adjonction de fluor, les résines composites autopolymérisables et les ciments verres ionomères (CVI). Les résines photo ou autopolymérisables semblent avoir la même rétention. Les CVI, ainsi que les résines photopolymérisables contenant du fluor, présentent une rétention moindre (HAS, 2010).

La HAS recommande un nettoyage mécanique à sec (sans pierre ponce, qui diminue la rétention du matériau) ou un nettoyage par aéro-polissage, puis un conditionnement de l'émail par acide avant la mise en place de la résine de scellement.

La mise en place de *sealants* doit faire l'objet d'une surveillance régulière, variable en fonction du RCI. À l'occasion des visites de contrôle, le RCI est réévalué et l'intégrité du matériau est vérifiée. En cas de perte partielle, le matériau est réparé et en cas de perte totale, il est réappliqué en fonction du RCI (HAS, 2005).

3.2 Techniques opératoires sans préparation cavitaire

3.2.1 Ozonothérapie

Aussi appelé trioxygène, l'ozone est une molécule composée de trois atomes d'oxygène, de formule O_3 (Figure 34). C'est une variété allotropique de l'oxygène, bien moins stable que le dioxygène O_2 , vers lequel il tend à se décomposer selon la réaction exothermique suivante : $2O_3 \rightarrow 3O_2 + \text{énergie}$ (Duran, 2014). En présence d'eau, la molécule O_3 se transforme en un anion réactif O_3^- , qui permet la formation d'un radical hydroxyle (OH^\cdot) à très fort pouvoir oxydant (Tassery et coll., 2006).

Le gaz ozone fut découvert en 1840 par le chimiste F. Schonbein, considéré aujourd'hui comme le père de l'ozonothérapie. La première utilisation de l'ozone en dentisterie a été décrite en 1930 par le Dr. E.A. Fish sous forme d'eau ozonée (Duran, 2014).

L'ozone est un agent désinfectant, qui agit par destruction, neutralisation ou inhibition de la croissance des micro-organismes et virus au même titre que le chlore mais à des

concentrations inférieures. De plus, il agit plus rapidement et n'a ni goût, ni odeur désagréables (Tassery et coll., 2006).

La demi-vie de l'ozone est de 30 minutes et sa toxicité est importante pour de grandes quantités. Les normes recommandent de ne pas dépasser 0,10 ppm (parties par million) d'ozone pour l'air confiné et 0,12 ppm pour l'air ambiant (Tassery et coll., 2006).

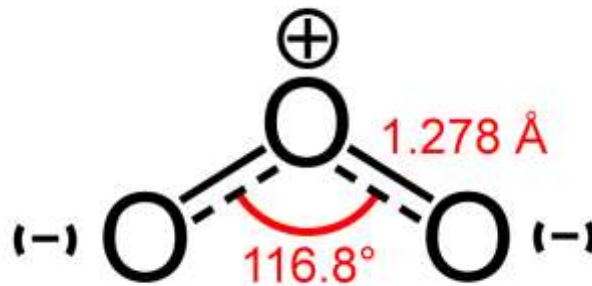


Figure 34 : architecture moléculaire de l'ozone (d'après Duran, 2014)

○ Présentation du produit

Trois appareils sont actuellement commercialisés : Ozonytron® (Mymed) ; Prozone® (W&H) et HealOzone® (KaVo). C'est ce dernier qui est le plus répandu et le plus utilisé dans les études.

L'ozone est délivré par une unité (Figure 35). Une pièce à main, reliée à l'unité, émet 2100 ppm d'ozone renouvelé toutes les 300 fois par seconde sur le tissu à traiter. L'extrémité de la pièce à main porte une cupule en caoutchouc à usage unique qui doit être appliquée intimement sur les tissus (5 dimensions de cupule) (Figure 36). Toute fuite d'ozone stoppe immédiatement le processus par sécurité. La difficulté majeure de cette technique est donc d'obtenir un joint étanche entre la zone à traiter et la cupule. Toutes les cavités complexes interdisent donc l'utilisation de l'ozone (Tassery et coll., 2006).



Figure 35 : unité de HealOzone X4 (d'après <http://www.coburgdentalgroup.com.au/healozone/>)



Figure 36 : cupule à usage unique à positionner intimement sur les tissus à traiter (ici la face occlusale de la 16)
(d'après Tassery et coll., 2006)

La zone traitée par ozone est ensuite reminéralisée à l'aide d'une solution à base de fluor à 1100 ppm, de calcium, de zinc, de phosphate et de xylitol (Duggal et coll., 2012). S'il y a cavitation, la cavité est obturée avec un CVI de type Fuji VII (GC, Tokyo) très concentré en fluor (Tassery et coll., 2006).

○ **Indications**

Initialement, l'Ozone était utilisé pour traiter les caries primaires radiculaires. Les indications se sont élargies aux sillons occlusaux, caries du collet, désinfection de la dentine affectée avant obturation, éclaircissement des dents, traitement de l'herpès labial (Tassery et coll., 2006).

Une étude, réalisée en 2009 (Johansson et coll., 2009), sur l'effet antibactérien de l'ozone montre une sensibilité de *Streptococcus mutans*, *Lactobaccilli casei* et *Actinomyces naeshlundii*. Cette dernière espèce semble, d'ailleurs, être plus sensible que les deux autres. Après 60 secondes d'action de l'ozone 99,9% des bactéries sont éliminées, même en présence de salive (Figure 37). En présence de salive, une application de 30 secondes est suffisante pour éliminer presque la totalité des bactéries. 80% de *S. mutans* et 60% de *L. casei* sont éliminés (Figures 38 et 39). La salive contient des protéines, qui sont également éliminées par l'ozone. L'action de l'ozone s'en trouve amoindrie. C'est pourquoi il est préférable d'isoler le site à traiter.

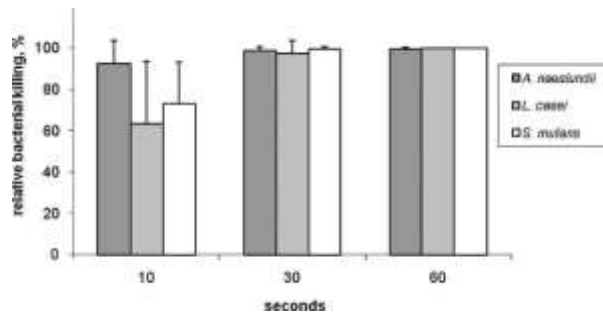


Figure 37 : pourcentage d'élimination de *S. mutans*, *L. casei* et *A. naeslundii* après une application d'Ozone de 10, 30 et 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009)

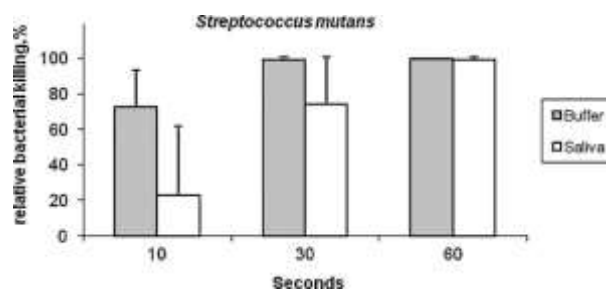


Figure 38 : pourcentage d'élimination de *S. mutans* dans une solution tampon (en gris) ou dans la salive (en blanc) après une application de 10, 30 ou 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009)

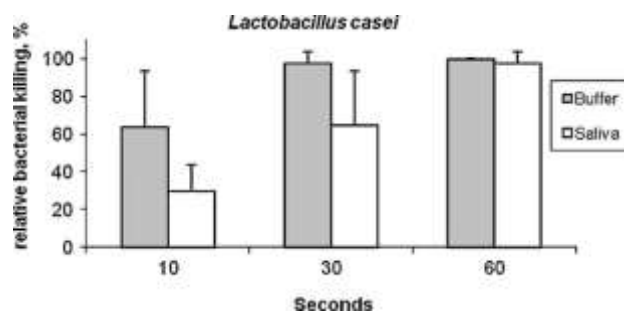


Figure 39 : pourcentage d'élimination de *L. casei* dans une solution tampon (en gris) ou dans la salive (en blanc) après une application de 10, 30 ou 60 secondes (d'après Johansson et coll., 2009)

Une autre étude (Hauser-Gerspach et coll., 2009), réalisée *in vivo*, évalue les effets d'une application d'ozone de 30 secondes sur des lésions cavitaires chez l'enfant. Les résultats ne montrent pas de diminution significative du nombre de bactéries, que la couche de dentine infectée soit enlevée ou non.

Étant donné qu'une solution reminéralisante est appliquée sur les surfaces traitées tout de suite après l'utilisation d'ozone, il est difficile de savoir qu'elle est son action réelle. Des études récentes ont été menées pour déterminer la part qu'occupe l'ozone dans la reminéralisation.

Un modèle cariogénique (Duggal et coll., 2012), réalisé *in situ*, a évalué le pouvoir d'inhibition de la déminéralisation de l'ozone. Pour ce faire, les auteurs ont testé trois groupes

de patients : le premier groupe a reçu un traitement par ozone et un kit de reminéralisation, le deuxième uniquement par un kit de reminéralisation et le troisième groupe est un groupe contrôle, qui a utilisé du dentifrice sans fluor. Le kit de reminéralisation comprenait une solution reminéralisante contenant du fluor à 1100 ppm, du calcium, du zinc, du phosphate et du xylitol. Cette solution a été appliquée tout de suite après traitement par ozone de 60 secondes au jour 1 et au jour 8 dans le cas du premier groupe. Dans le second groupe l'application était identique, mais sans traitement à l'ozone préalable. De plus, dans le kit reminéralisation se trouvait un kit patient que les sujets devaient utiliser tous les jours. Il contenait du dentifrice fluoré (à utiliser deux fois par jour matin et soir), un bain de bouche fluoré à 1080 ppm (à utiliser trois fois par jour) et un spray oral à base de fluor, calcium, zinc, phosphate et xylitol. Au niveau de la microdureté, les groupes 1 et 2 ont montré des résultats similaires : il n'y a pas eu de changements significatifs dans la dureté des tissus dentaires entre les données initiales et celles prises à la fin de l'expérience. Le groupe contrôle a enregistré les plus grands changements dans la dureté. L'analyse de Bonferroni a révélé une différence significative entre les groupes 1 et 3, ainsi qu'entre les groupes 2 et 3. Il n'y a pas eu de différence significative entre les groupes 1 et 2.

Les auteurs ont conclu qu'il n'y avait pas d'effet additionnel de l'ozone sur l'inhibition de la déminéralisation de l'émail ou de la dentine lorsqu'une solution reminéralisante était utilisée.

Une autre étude (Tahmassebi et coll., 2014), *in vitro* cette fois, a testé quatre groupes pour déterminer l'effet de l'ozone dans la progression ou la régression des lésions carieuses :

- 1- groupe contrôle utilisant du dentifrice sans fluor,
- 2- groupe recevant un traitement par ozone uniquement,
- 3- groupe recevant un traitement par kit de reminéralisation,
- 4- groupe recevant un traitement ozone/kit de reminéralisation.

Le groupe 4 a donné les meilleurs résultats au niveau de la microdureté, bien que les valeurs soient assez similaires entre les groupes 3 et 4. Une différence significative dans l'évolution de la taille des lésions des trois groupes ayant reçu un traitement (2, 3 et 4) a été observée en comparaison au groupe contrôle. Les meilleurs résultats ont été obtenus pour le groupe ozone/kit de reminéralisation (groupe 4).

Les auteurs ont conclu que l'ozone seul est inefficace pour la protection de l'émail contre la déminéralisation mais son effet est potentialisé par l'usage du produit de reminéralisation.

Une autre étude *in vivo* (Johansson et coll., 2014), réalisée sur des molaires temporaires, a montré que pour un RCI faible à moyen, l'application de l'ozone seul a permis un arrêt de la progression carieuse ou du moins une progression minimale au niveau des lésions non cavitaires. Tandis qu'au niveau des lésions cavitaires, l'ozone seul n'a pas stoppé la progression carieuse.

En résumé, l'ozone peut être utilisé comme un agent désinfectant car, il est efficace pour détruire des bactéries telles que *S. mutans*, *L. casei* et *A. naeslundii* (avec une application de 60 secondes) (Johansson et coll., 2009). Cependant, au vue des études réalisées à ce jour, l'ozonothérapie ne peut être considérée que comme une thérapie additionnelle en matière de reminéralisation des lésions carieuses (Duggal et coll., 2012 ; Johansson et coll., 2014 ; Tahmassebi et coll., 2014).

3.2.2 Reminéralisation

Le fluor est l'agent le plus largement étudié dans la littérature scientifique pour la reminéralisation des tissus durs déminéralisés par les attaques acides des bactéries, mais également le plus utilisé. Cette reminéralisation peut être menée par différents produits en utilisation topique quotidienne à domicile ou en application chez un dentiste. Le plus répandu et le plus largement utilisé est le dentifrice fluoré, qui peut être complété par un bain de bouche (Holmgren et coll., 2014). Le brossage à l'aide d'un dentifrice fluoré permet non seulement de prévenir la formation d'une lésion carieuse, mais également d'arrêter sa progression et même de réparer les dommages causés dans certains cas. Cependant, l'action de reminéralisation prend beaucoup de temps et nécessite un contrôle de plaque rigoureux (Bail, 2012).

L'application professionnelle d'agents reminéralisants tels que les vernis fluorés doit se faire deux fois par an. Ils ont un effet préventif indéniable sur la carie ; leur effet reminéralisant sur des lésions non cavitaires reste à prouver. Une étude sur 9 mois (Joharji et Adenubi, 2001) a démontré que l'usage du vernis à base de 1 % de chlorhexidine (Cervitec®) était efficace pour stopper la progression de lésions non cavitaires au niveau des sillons sur première ou deuxième molaires permanentes chez l'enfant.

De nouveaux agents de reminéralisation, dérivés du phosphate de calcium, ont fait leur apparition récemment. Le phosphate de calcium est une molécule qui a pour effet d'augmenter la concentration en calcium dans la cavité buccale. La capacité naturelle de reminéralisation de la salive s'en trouve donc améliorée. Pour 2 ions fluorures, 10 ions

calciums et 6 ions phosphates sont nécessaires à la formation d'une molécule de fluoroapatite. En augmentant la disponibilité du calcium et du phosphate, les effets du fluor sont ainsi potentialisés.

Trois molécules dérivées du phosphate de calcium et utilisant cette méthode sont disponibles sur le marché :

- Le phosphopeptide de caséine-phosphate de calcium amorphe ou CPP-ACP, appelé RecaldentTM, est présent dans la composition de Tooth Mousse® (GC, Japon), qui est une pâte topique de reminéralisation. Il existe également le CPP-ACP avec adjonction de fluor ou CPP-ACPF, qui rentre dans la composition du Tooth Mousse plus®.
- Le phosphate de calcium amorphe non stabilisé ou ACP, appelé EnamelonTM, est employé sous forme de pâte dentifrice.
- Un verre bioactif contenant du sodium phosphosilicate de calcium ou NovaminTM. (Bail, 2012)

Une étude réalisée sur la reminéralisation de l'émail *in vitro* (Shetty et coll., 2014) a montré une différence significative dans l'augmentation de la reminéralisation dans le groupe traité avec du CPP-ACPF en comparaison au CPP-ACP et fluorure de sodium. Au niveau de la reminéralisation des lésions white spot, le CPP-ACP et le CPP-ACPF se révèlent être plus efficaces que le dentifrice fluoré à 1100 ppm (Jo et coll., 2014).

Le CPP-ACP et le CPP-ACPF sont des produits prometteurs dans la reminéralisation des lésions non cavitaires, mais nécessitent des études complémentaires (Bail, 2012).

3.2.3 Scellement et infiltration des lésions non-cavitaires

La lésion carieuse débute par une zone de déminéralisation, qui conduit à la formation d'une tâche blanche ou *white spot*. L'émail, devenu poreux, laisse passer les acides organiques d'autant plus facilement, menant à la progression de la lésion carieuse jusqu'à ses stades les plus avancés (Phark et coll., 2009).

Dans un souci d'économie tissulaire, les lésions non-cavitaires de code 1 et 2 de la classification ICDAS II peuvent être traitées par scellement ou infiltration de la lésion. Cependant, ces traitements sont contre-indiqués dans les cas d'ombres indiquant une carie dentinaire ou les cas de lésions radiographiques évidentes (Holmgren et coll., 2014).

Dans ce chapitre il sera question de scellement pour les lésions occlusales (site 1) et d'infiltration pour les lésions des faces lisses (vestibulaire et palatine/linguale) et proximales (site 2 et 3).

- **Scellement**

Le scellement thérapeutique des sillons occlusaux dans le cas d'une lésion non-cavitaire peut être réalisé chez l'enfant, l'adolescent mais également chez l'adulte jeune (Holmgren et coll., 2014). Le fait d'appliquer une résine sur la lésion non-cavitaire prive les bactéries qui la colonisent de nutriments et d'oxygène. Ceci a pour conséquence de réduire ou d'arrêter la progression de la destruction carieuse (Simonsen, 2011). Un article, publié en 2012 (Bakhshandeh et coll., 2012) concernant une étude menée sur 3 ans, a révélé que 10% des dents avec des scellements thérapeutiques ont connu une progression de leur lésion carieuse, 2% une régression et dans 88% des cas la lésion carieuse est restée stable.

Toutefois, cette technique pourrait, semble-t-il, s'appliquer à des lésions cavitaires de faible étendue. En effet, une étude (Hesse et coll., 2014), réalisée sur des molaires déciduales, comparant le scellement des lésions dentinaires cavitaires (score 5 ICDAS) et l'éviction carieuse sélective suivie de la mise en place d'une restauration à la résine composite a montré qu'il n'y a avait pas de progression carieuse à 18 mois dans les deux groupes. Cependant, les lésions, restaurées à la résine composite présentaient une meilleure survie que celles scellées.

Il est également possible, de sceller les limites de vieilles restaurations dont la dépose serait trop délétère (Holmgren et coll., 2014).

Différents types de matériaux peuvent être utilisés pour le scellement thérapeutique : les résines composites fluides et ultrafluides à *sealants*, le verre ionomère (CVI), le verre ionomère modifié par adjonction de résine (CVIMAR) et le compomère. Le matériau de choix reste cependant la résine composite pour *sealants*, l'utilisation des verre-ionomères doit rester occasionnelle, dans le cadre d'une restauration temporaire et dans le cas où la mise en place de la résine composite est difficile ou impossible. L'utilisation des compomères doit encore faire ses preuves (Holmgren et coll., 2014).

- **Infiltration**

Pour le traitement des lésions proximales peu étendues, le chirurgien-dentiste a longtemps eu le choix entre la reminéralisation (qui nécessite une compliance du patient à toute épreuve) et des techniques invasives (qui mènent souvent à la suppression de la crête marginale).

Depuis quelques années, une résine d'infiltration est disponible sur le marché : Icon[®], commercialisée par DMG. Ce produit a été développé en collaboration avec l'hôpital de la Charité de Berlin et l'Université de Kiel (DMG, 2011a). Son action est fondée sur le principe

de l'infiltration par capillarité de la lésion poreuse, qui stoppe la déminéralisation et la progression de la carie (Lasfargues et coll., 2013).

○ **Présentation du produit**

Icon® (DMG) est commercialisé sous forme de kits : (Figure 40)

- un kit pour les faces lisses vestibulaires et linguales
- un kit pour les faces proximales

Chaque kit comprend une seringue Icon®-Etch (acide chlorhydrique à 15%), une seringue Icon®-Dry (composé à 99% d'éthanol) et une seringue Icon®-Infiltrant (composé d'une matrice résine à base de méthacrylate, d'additifs et d'initiateurs) (Bail, 2012).



Figure 40 : kit proximal d'infiltration Icon® (d'après le site internet www.aplipratica.pt)

L'embout pour les surfaces lisses est rond et s'applique directement sur la dent, tandis que l'embout proximal se présente sous forme d'ailettes avec une fine membrane micro-perforée (Figures 41 et 42).



Figure 41 : seringue avec embout pour les faces lisses (d'après la Fiche Produit Icon®)



Figure 42 : seringue avec embout pour les faces proximales (d'après la Fiche Produit Icon®)

○ **Protocole clinique**

Consensus de la communauté scientifique sur l'infiltration :

- mordançage de la lésion à l'aide d'acide chlorhydrique à 15% pendant 120 secondes
- séchage alcoolique
- double infiltration à l'aide d'une résine acrylique

➤ **Nettoyage des surfaces dentaires et mise en place du champ opératoire**

Les zones traitées doivent être indemnes de plaque bactérienne. Un nettoyage avec une brosette montée sur contra-angle réducteur est donc nécessaire.

Le champ opératoire est indispensable et doit permettre un accès optimum au site à traiter. C'est pourquoi la digue doit être posée une dent en avant et une dent en arrière de la zone cible, au minimum (Figure 43) (Bail, 2012). Le site opératoire doit être sec au risque de voir la résine à base de monomères perdre son homogénéité (Bail, 2012; DMG, 2011b). De plus l'utilisation de l'acide chlorhydrique peut entraîner une ulcération des tissus mous (Bail, 2012).



*Figure 43 : mise en place de la digue à distance du site à traiter : ici la face distale de la 35 et mésiale de la 36
(photographie du service d'odontologie de Brest)*

Pour le traitement des faces proximales, un coin de bois ou de plastique doit être inséré dans l'espace inter-dentaire pour permettre l'insertion de l'embout proximal. DMG recommande un espacement minimum de 50 μ m (DMG, 2011b). Un coin en plastique est fourni dans le kit proximal de la résine Icon[®]. Il est possible de le laisser sur sa tige ou bien de le séparer pour plus de facilité lors du traitement.

➤ **Mordançage/érosion**

C'est une étape essentielle pour réaliser une bonne infiltration de la résine au niveau de la lésion.

Cette étape est réalisée à l'aide de la seringue fournie Icon[®]-Etch (Figure 44). La seringue contient de l'acide chlorhydrique à 15 % (Bail, 2012). Pour les surfaces lisses, il est nécessaire d'utiliser l'embout rond directement sur la zone à traiter. Pour les faces proximales, l'embout à ailettes vient s'insérer dans l'espace inter-dentaire avec la face verte (poreuse) contre la lésion. Au bout de 2 minutes d'action le produit est rincé pendant 30 secondes, puis le site est séché sous spray d'air (Bail, 2012; DMG, 2011b).



Figure 44 : mordançage à l'acide chlorhydrique à 15% (photographie du service d'odontologie de Brest)

➤ **Séchage alcoolique**

Pour favoriser la pénétration du produit dans la lésion, celle-ci est asséchée grâce à l'Icon[®]-Dry (Bail, 2012). C'est un produit à base d'éthanol concentré à 99%. L'alcool est appliqué à l'aide d'une aiguille mousse pendant 30 secondes (Figure 45), il est ensuite éliminé à l'aide du spray d'air. Si après le séchage à l'Icon[®]-Dry il persiste toujours une tâche blanche, il est nécessaire de refaire un mordançage (DMG, 2011b).



Figure 45 : séchage à l'aide de l'Icon[®]-Dry (photographie du service d'odontologie de Brest)

➤ Infiltration

Comme les deux autres produits, Icon[®]-Infiltrant est fourni dans une seringue pré-remplie. Le produit est de couleur jaune et est constitué d'une matrice de résine méthacrylate, d'additifs et d'initiateurs (DMG, 2011b).

Un embout neuf doit être vissé sur la seringue. L'embout à ailettes est inséré dans l'espace inter-dentaire (en appliquant le côté vert contre la lésion) pour les faces proximales (Figure 46). Le temps d'application du produit est de 3 minutes, car il faut laisser le temps à la résine de pénétrer la lésion. Les excès éventuels du produit doivent être éliminés avant la polymérisation à l'aide d'un spray d'air et le passage d'un fil dentaire (DMG, 2011b).



*Figure 46 : infiltration de la lésion à l'aide de l'Icon[®]-Infiltrant
(Photographie du service d'odontologie de Brest)*

➤ Polymérisation

Elle s'effectue à l'aide d'une lampe à photopolymériser (intensité minimale de 800 mW/cm²) pendant au moins 40 secondes au total (Figure 47) (DMG, 2011b).



Figure 47 : photopolymérisation (Photographie du service d'odontologie de Brest)

➤ Polissage

Il s'effectue après la dépose du coin de bois ou plastique et de la digue à l'aide de bande à polir pour les faces proximales et de cupules à polir pour les surfaces lisses. (DMG, 2011b). Une étude *in vitro* réalisée par Paris et coll. en 2013 sur l'infiltration au niveau de lésions de déminéralisation survenues autour des braquets orthodontiques a montré de meilleurs résultats esthétiques pour les lésions infiltrées et polies en comparaison à celles infiltrées mais non polies.

○ Indications

Seules les lésions initiales non-cavitaires (score 1 et 2 de la classification ICDAS II et stades 0 et 1 de la classification SiSta) peuvent être infiltrées (Figure 48 et 49) (Lasfargues et coll., 2013). Le fabricant DMG recommande son utilisation jusqu'au stade radiographique D1, ce qui correspond au 1/3 externe dentinaire (DMG, 2011b).

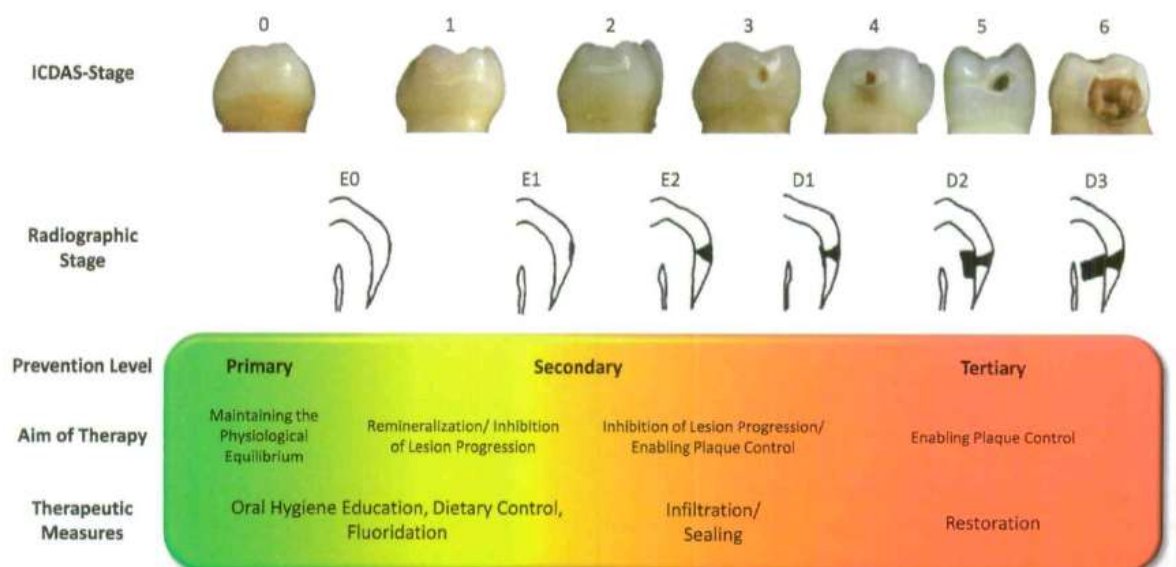


Figure 48 : représentation des stades de classification ICDAS et radiographique et leur correspondance, ainsi que les mesures thérapeutiques nécessaires (d'après Phark et coll., 2009)



Figure 49 : infiltration d'une lésion cavitaire a) situation initiale b) après l'infiltration : la résine n'a pas rempli la petite cavité (d'après Lasfargues et coll., 2013)

Au niveau des surfaces lisses (vestibulaires et palatines/linguales), la résine Icon[®] est adaptée au traitement des tâches blanches de l'émail (Figure 50) (Lasfargues et coll., 2013), ainsi qu'aux lésions de déminéralisation (*white spot*) autour des braquets orthodontiques (Figure 51) (Bail, 2012; Lasfargues et coll., 2013; Phark et coll., 2009).



Figure 50 : infiltration de lésions non cavitaires de type *white spot* sur 11 et 21
a) situation initiale b) 3 mois après le traitement, le résultat esthétique satisfait le patient
(d'après Lasfargues et coll., 2013)



Figure 51 : infiltration d'une lésion de déminéralisation suite au port de braquets orthodontiques sur la 22
a) situation initiale b) résultat après 6 mois : absence de l'aspect crayeux (d'après Lasfargues et coll., 2013)

Une étude *in vivo*, réalisée sur 18 mois (Paris et coll., 2010), a comparé l'efficacité de l'infiltration par rapport à un traitement placebo. La radiographie par comparaison des paires a montré une progression de la carie dans 4 % des cas dans le groupe traité par infiltration grâce à la résine Icon[®] et dans 22 % des cas dans le groupe de contrôle ; ce qui représente une différence significative (P=0,063).

Un essai clinique (Martignon et coll., 2012), mené sur 3 ans, a montré, quant à lui, une progression de la carie dans 70,3 % des cas dans le groupe placebo et dans 32,4 % des cas dans le groupe traité par infiltration à la résine Icon[®] (P=0,0012).

Le traitement par érosion/infiltration semble être un moyen efficace pour stopper la progression de la carie au niveau des lésions proximales. Cette technique vient combler un vide thérapeutique se situant entre la simple reminéralisation et le traitement invasif. C'est une approche non-invasive prometteuse qui doit cependant faire ses preuves sur le long terme (Doméjean et coll., 2015).

3.2.4 Lasers

LASER est l'acronyme de l'anglais *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* ou Amplification de Lumière par Emission Stimulée de Radiations (Wikipedia).

- **Principes de fonctionnement des lasers**

Le Laser repose sur le principe de l'émission stimulée.

Emission stimulée : un premier photon en rencontrant un électron excité, provoque la désexcitation de celui-ci et le force à émettre un second photon. Ce dernier aura la même phase, la même direction et la même polarisation que le photon incident (Figure 52) (Kuhn, 2010).

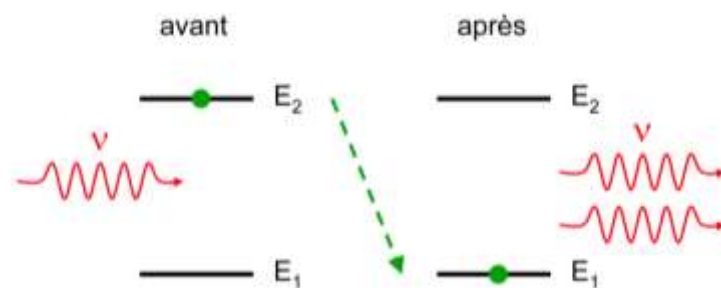


Figure 52 : représentation schématique de l'émission stimulée (d'après <https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>)

- **Fonctionnement du laser**

Le laser est un dispositif amplificateur formé par trois éléments principaux :

- Une cavité optique résonnante (ou cavité de Perot-Fabry) constituée de deux miroirs parallèles, l'un totalement réfléchissant, l'autre semi-transparent (90% de réflexion) de façon à permettre la sortie du rayonnement généré.
- Un système d'excitation ou source de pompage
- Un milieu actif ou émetteur (solide, liquide ou gaz)

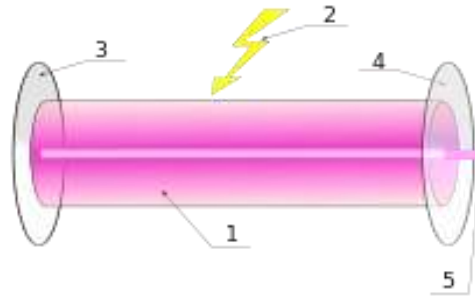


Figure 53 : représentation schématique d'un laser : 1) milieu actif 2) source de pompage 3) miroir réfléchissant à 100% 4) miroir semi-réfléchissant 5) faisceau laser (d'après <https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>)

La source de pompage excite les électrons du milieu actif par émission d'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde (λ) appropriée. Pendant la désexcitation, il y a production d'un autre photon. L'ensemble produira à son tour deux autres photons pendant la désexcitation de deux autres atomes. Les miroirs se renvoient les photons émis. Ce rayonnement s'amplifie donc par émission stimulée à chaque passage dans le milieu actif. Le miroir semi-réfléchissant laisse passer une certaine fraction de lumière pour former le faisceau laser à proprement parler (Kuhn, 2010).

Les unités de mesure des lasers :

- **puissance** en Watt
- **énergie** en Joule ($J=W/s$)
- **fluence** : c'est l'énergie reçue par une surface de 1 cm^2 . Elle se mesure en J/cm^2 .

➤ Les effets du laser

Les lasers sont utilisés pour effectuer un transfert d'énergie entre le rayonnement et le tissu cible. L'effet est fonction de la densité d'énergie, du temps d'application sur les tissus, de la longueur d'onde et de son mode de fonctionnement (continu ou pulsé).

Il existe 7 grands effets des lasers sur les tissus vivants. Ce sont la **biostimulation**, l'effet **thermique** (qui réunit la **vasodilatation**, la **coagulation** et la **carbonisation**), l'effet **photochimique**, l'effet **mécanique** et l'effet **photo-ablatif** ou vaporisation (Figure 54) (Kuhn, 2010).

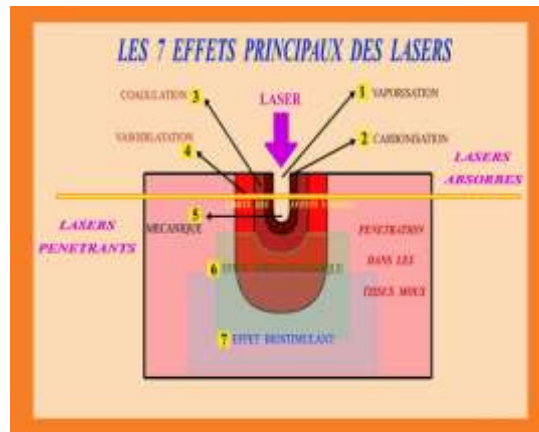


Figure 54 : les 7 principaux effets des lasers sur les tissus vivants (d'après <http://www.laser-dentaire.fr/http-laser-dentaire-e-monsite-com/interaction-laser-et-le-tissus-vivant.html>)

- **Les principaux types de lasers utilisés en odontologie**

Le tableau 24 présente les principaux types de lasers utilisés en odontologie, ainsi que leurs caractéristiques techniques.

Tableau 24 : les principaux types de lasers utilisés en dentisterie (d'après Tolila, 2008)

Lasers	Diode	Nd:YAG	Nd:YAP	Er:YAG/ Er,Cr:YAG	CO ₂
Exemples de marques	Sirona, Deka	Deka, Fotona	Lokki (exclusif)	KeyLaser, Fotona, Deka	Deka, Lasotronic
Longueur d'onde (µm)	0,810-980	1,06	1,34	2,94 / 2,78	10,6
Absorption dans l'hémoglobine	+++	+++++	++++	0	+
Absorption dans l'HA	NC	+	+	+++++	NC
Mode	Continu	Pulsé	Pulsé	Pulsé	Continu ou pulsé
Transmission par fibre optique	oui	oui	Oui (auto-dénudables)	Non (tubes)	non

- **Les lasers Erbium : Yttrium-Aluminium-Garnet (Er:YAG) et Erbium, Chromium : Yttrium-Scandium-Gadolinium-Garnet (Er,Cr:YSGG)**

Ces lasers émettent à des longueurs d'onde atteignant presque 3000 nm. Ils font partie des lasers absorbés. Ce sont des lasers polyvalents en omnipratique car ils permettent l'éviction des tissus durs et mous. Au niveau des tissus durs, l'ablation se fait par effet mécanique : l'évaporation des molécules d'eau crée l'éclatement des joints interprismatiques.

Les domaines d'application de ces lasers sont donc la dentisterie conservatrice, l'endodontie, la parodontologie et la chirurgie buccale.

KaVo a développé un laser Er:YAG avec fluorescence induite par laser (ou *Light Induced Fluorescence* LIF) : le Key III (Figure 55). Le laser est fondé sur le fonctionnement de DIAGNODent (Cf. chapitre 2.3.2) et n'est déclenché que lorsqu'il détecte la fluorescence des tissus cariés (Neves et al. 2011b).



Figure 55 : le laser Key III de KaVo (d'après www.infowebdental.com)

➤ **Laser Neodymium: Yttrium – Aluminium – Garnet (Nd:YAG)**

Ce laser émet à une longueur d'onde de 1060 nm (Tolila, 2008). Il est très pénétrant dans les tissus mous (pénétration de 8mm). Le Nd:YAG est peu absorbé dans l'eau mais possède une absorption élevée dans l'hémoglobine et les chromophores, ce qui fait de lui un excellent outil de coagulation. Ses principales indications d'utilisation sont l'endodontie (stérilisation canalaire), la parodontologie (traitement des poches) et la chirurgie des tissus mous (incisions, hémostase des petits vaisseaux, etc.) (Kuhn, 2010). Il peut également être utilisé pour la stérilisation des surfaces cavitaires, la vitrification dentinaire (désensibilisation et fond de cavité profonde), ainsi que pour l'ablation de tissus cariés foncés.

➤ **Le laser à dioxyde de carbone (CO₂)**

Le laser CO₂ a été développé en 1964 par Patel et coll. (Azevedo Rodrigues et coll., 2004). Il fait partie de la famille des lasers absorbés. Il émet à une longueur d'onde de 10 600 nm. Le mélange gazeux du milieu actif est en fait composé de dioxyde de carbone, d'hélium (He) et d'azote (N₂). Il peut fonctionner en mode continu, pulsé ou super pulsé (*Q-switched*). Il possède une bonne absorption dans l'eau et l'HA mais mauvaise dans l'hémoglobine. Ces

applications sont la chirurgie des tissus mous, l'hémostase et la stérilisation. Il ne convient pas pour la préparation cavitaire (Kuhn, 2010). Le laser CO₂ altère la structure des cristaux d'HA et réduit ainsi la réponse du minéral aux acides (Azevedo Rodrigues et coll., 2004).

- **Les lasers dans la prévention et la reminéralisation**

Les lasers utilisés pour la prévention et la reminéralisation sont principalement les lasers CO₂, Er:YAG (Er,Cr:YSGG) et Nd:YAG. Une étude (Correa-Afonso et coll., 2012), réalisée *in vitro* sur 45 dents humaines avec ces trois lasers révèle que le laser CO₂ est le plus approprié pour augmenter la résistance de l'émail aux attaques acides au niveau des sillons occlusaux. En effet, au niveau de la micro-dureté une différence statistiquement significative entre les zones « test » et les zones « contrôle » a été observée uniquement pour le laser CO₂. Les valeurs du nombre de Knoop sont respectivement de 291 et de 256. L'observation en microscopie à balayage ne révèle pas de persistance de zones de déminéralisation contrairement aux lasers Nd:YAG et Er:YAG (Figures 56, 57 et 58).

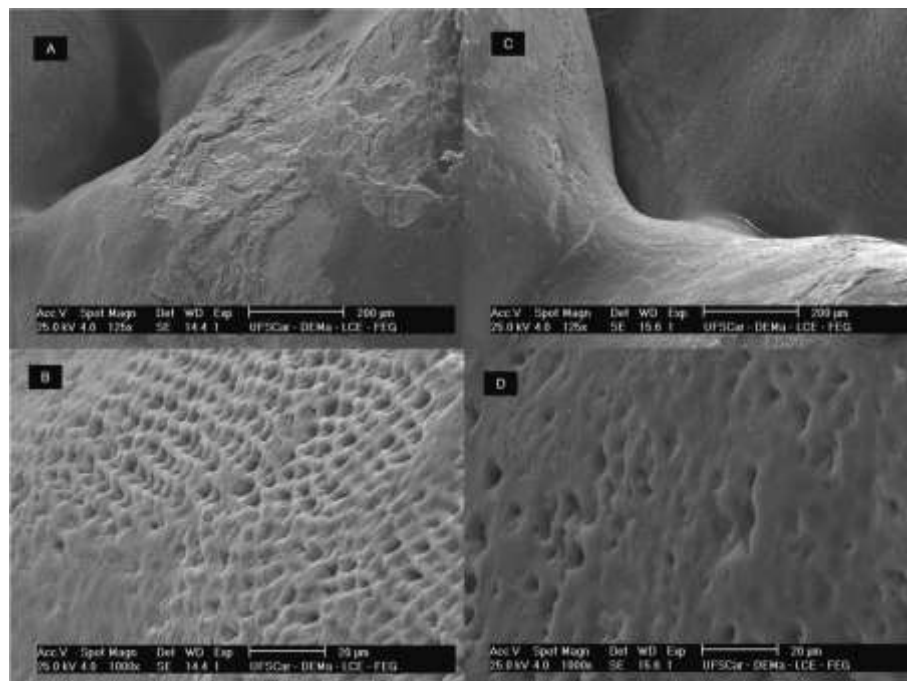


Figure 56 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x125 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser Er:YAG (x125 et x1000), la surface occlusale ne montre pas de signes d'altérations causées par l'irradiation au laser, une déminéralisation de la couche superficielle peut être observée (d'après Correra-Afonso et coll., 2012)

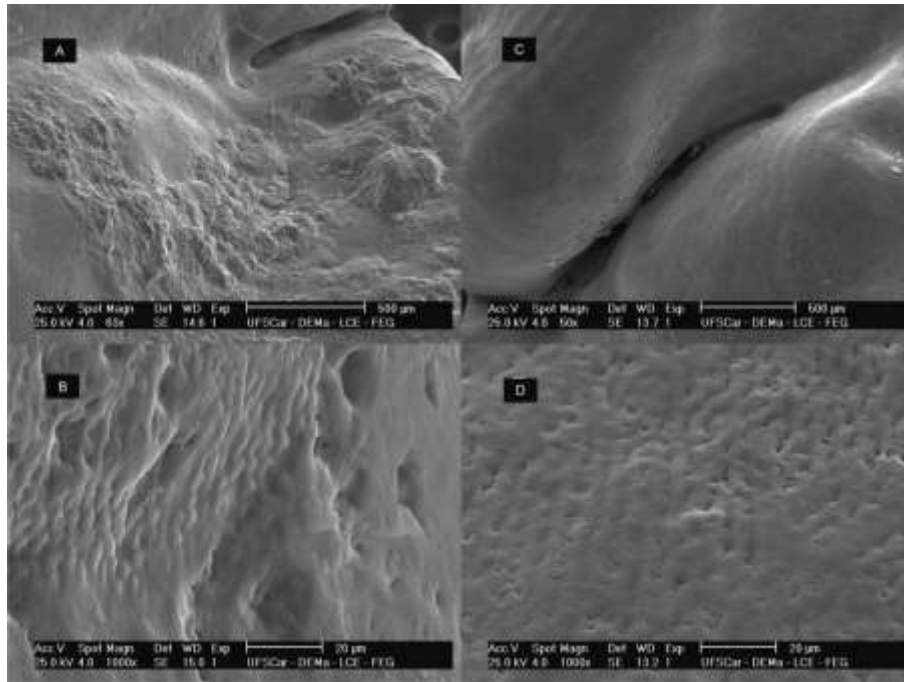


Figure 57 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x63 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser Nd:YAG (x63 et x1000), la surface occlusale ne montre pas de signes d'altérations causées par l'irradiation au laser, une déminéralisation de la couche superficielle peut être observée (d'après Correra-Afonso et coll., 2012)

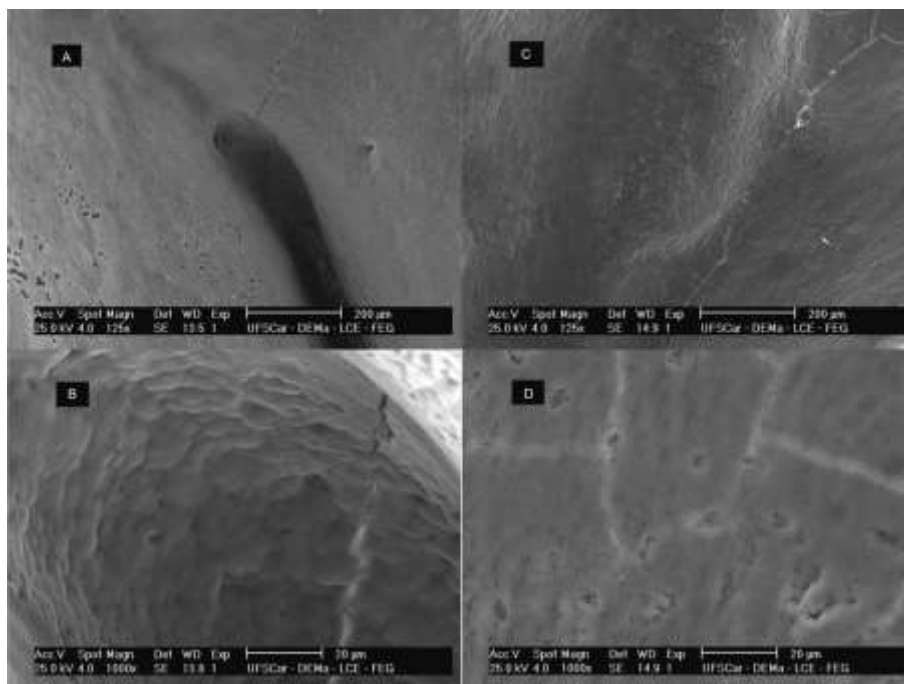


Figure 58 : observations faites en MEB : a-b) zones de contrôle (x125 et x1000), des signes de déminéralisation et des dommages au niveau des couches superficielles des tissus sont observables ainsi qu'une rugosité de la surface. c-d) zones exposées à une irradiation au laser CO₂ (x125 et x1000), observations de fissures sans fusion des tissus, il n'y a pas de signes de déminéralisation (d'après Correra-Afonso et coll., 2012)

D'autres études semblent confirmer le fait que le laser CO₂ inhiberait la déminéralisation de l'émail. Dans leur étude, Rechmann et coll. (2011) ont montré que le laser CO₂ inhibe la déminéralisation autour des brackets orthodontiques à 87 % au bout de 12 semaines (Rechmann et coll., 2011). Ces résultats confirment ceux obtenus *in situ* en 2006 par Rodrigues et coll. Les auteurs ont constaté que le laser CO₂ inhibe la déminéralisation avec la même efficacité que le dentifrice fluoré. Ils ont également constaté que l'association du laser et du fluor permet une protection plus importante contre la déminéralisation que ces deux traitements appliqués séparément. De plus cette association permet de réduire l'énergie du laser et les concentrations en fluor utilisées (Azevedo Rodrigues et coll., 2004). Cependant, certains auteurs (Souza-Gabriel et coll., 2015) ne trouvent pas de synergie entre laser CO₂ et un vernis fluoré bien qu'ils constatent la réduction de la déminéralisation de l'émail après utilisation du laser. Une autre étude (Rechmann et coll., 2013) réalisée sur 12 mois, *in vivo*, a permis d'affirmer que le laser CO₂ utilisé en mode pulsé inhibe la progression des caries des sillons en comparaison au vernis fluoré seul. Si l'application du laser est faite avant celle du fluor une augmentation significative de la micro-dureté est constatée à la surface mais aussi à 30 et 60 µm de profondeur. Le laser pénètre plus profondément s'il est appliqué avant le fluor (Poosti et coll., 2014). Cependant, l'application du laser même à travers le fluor est reconnue plus efficace que l'utilisation de fluor seul (Tepper et coll., 2004).

Le laser Er:YAG, quant à lui, offre une protection contre la déminéralisation quand il est utilisé avec une énergie de 200 mJ. À cette énergie, il y a réduction de la formation des lésions de 32,78 % (Liu et coll., 2006). Le laser Er,Cr:YSSG n'a pas de bénéfice au niveau de la micro-dureté par rapport à un gel APF (*Acidulated Phosphate Fluoride*) lorsque le laser est utilisé seul et ce quelle que soit l'énergie. Le laser laisse une surface rugueuse avec des micro-craquelures. Après application de l'APF, la surface est plus lisse avec des agglomérats de particules dans les irrégularités laissées par le laser (Figure 59). Dans ces agglomérats de particules il ya une forte concentration en fluor. Grâce à une application de laser avec une fluence de 8,5 J/cm² il y a augmentation de la rétention de fluor à la surface de l'émail et une action de l'APF prolongée dans le temps (Ana et coll., 2012).

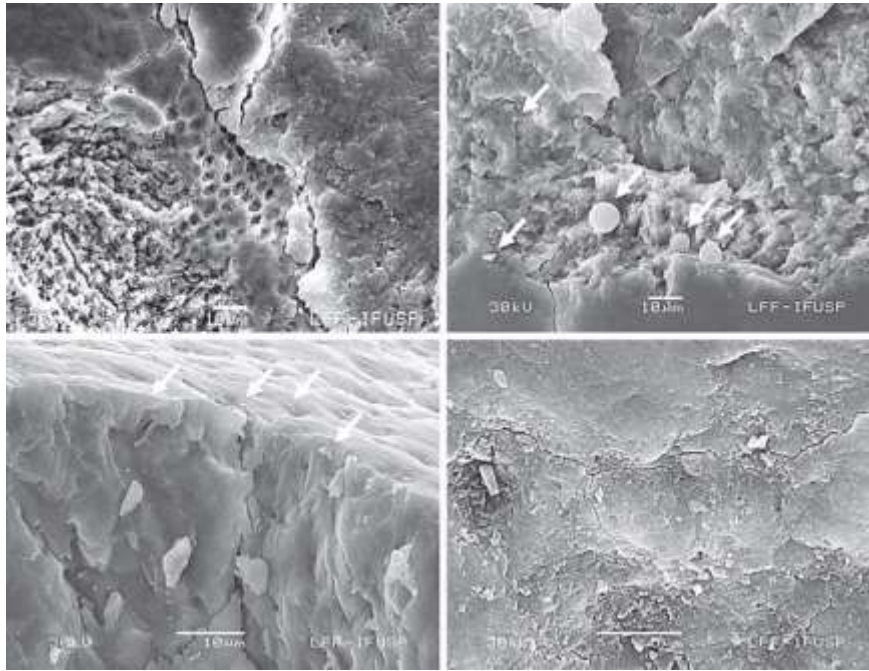


Figure 59 : observation en MEB de a) surface irradiée avec laser Er,Cr:YSSG à $8,5 \text{ J/cm}^2$ ($\times 1000$), l'exposition des cristaux d'hydroxyapatite est bien visible ; b à d) surface irradiée au laser à $8,5 \text{ J/cm}^2$ suivie d'une application d'APF ; b) rétention des globules de fluorure de calcium dans les anfractuosités laissées par le laser ($\times 1000$) ; c) vue en coupe ($\times 2000$) les globules sont indiqués par des flèches ; d) à un plus fort grossissement ($\times 5000$) on peut voir la haute concentration en fluorures (d'après Ana et coll., 2012)

Très peu d'études ont été réalisées sur le laser Nd:YAG. L'une d'elle conclut tout de même que le laser en association avec le CPP-ACP (*Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate*) peut être un traitement efficace pour la reminéralisation des lésions blanches autour des brackets orthodontiques. Il y a en effet une augmentation significative en calcium et en phosphate au niveau de la surface de l'émail en comparaison à l'utilisation du laser seul ou de CPP-ACP seul. Cependant, il n'y a pas d'augmentation significative de la micro-dureté pour l'association laser/ACP en comparaison à l'application de CPP-ACP seul (Erol, 2014).

3.3 Techniques opératoires avec préparation cavitaire

Depuis plus de 50 ans, Fusayama et Massler ont démontré, indépendamment l'un de l'autre, que la dentine cariée peut être divisée en deux couches : une couche externe de dentine infectée et une couche plus profonde de dentine affectée. La première est molle, envahie de bactéries, insensible et ne pouvant être reminéralisée. La seconde est plus dure car elle est plus minéralisée, présente un faible taux de bactéries et peut être reminéralisée. Dans un souci d'économie tissulaire, il est important d'utiliser des systèmes d'éviction carieuse les plus conservateurs possibles de cette zone affectée (Holmgren et coll., 2013).

Le système d'éviction carieuse idéal doit présenter un certain nombre de critères pour satisfaire à la fois le praticien et le patient :

- confort et facilité d'utilisation dans des conditions cliniques,
- éviction carieuse,
- être non douloureux,
- ne pas générer de vibrations ou de bruits durant la préparation,
- être abordable et facile d'entretien.

Malheureusement, à ce jour aucun système ne réunit tous ces critères (Banerjee et coll., 2000).

3.3.1 Éviction carieuse manuelle

C'est historiquement la première méthode à avoir été utilisée. Malgré l'abandon de certains instruments désuets et l'apparition des fraises, elle perdure toujours dans la pratique quotidienne. Elle est réalisée à l'aide d'excavateurs disponibles sous différents profils mais présentant tout de même des caractéristiques communes telles qu'une forme contre coudée et la présence d'un bord tranchant incurvé à leurs extrémités (Figure 60) (Naute, 2014). Grâce à ces excavateurs, il est possible d'éliminer facilement la dentine infectée non reminéralisable et ramollie et presque sans douleur pour le patient.

Dans une étude comparative faite *in vitro* (Celiberti et coll., 2006) il apparaît que l'excavation manuelle prend plus de temps (245 secondes en moyenne par cavité) que l'excavation carieuse avec une fraise en acier ou en polymères (respectivement, 137 et 178 secondes). Cependant, cette étude a montré que l'excavation manuelle est la technique qui avait le plus de concordance entre volume carieux initial et volume carieux éliminé. L'excavation manuelle est un bon compromis entre temps de travail et efficacité d'éviction carieuse.

La surface dentinaire après passage des excavateurs apparaît rugueuse avec quelques *tubuli* dentinaires ouverts. À un grossissement plus important, il est possible de voir une présence importante de *smear layer* (Figure 61) (Banerjee et coll., 2000).



Figure 60 : exemple d'excavateurs de deux tailles différentes. La taille de l'instrument doit être adaptée à la taille de la cavité (d'après Holmgren et coll., 2013)

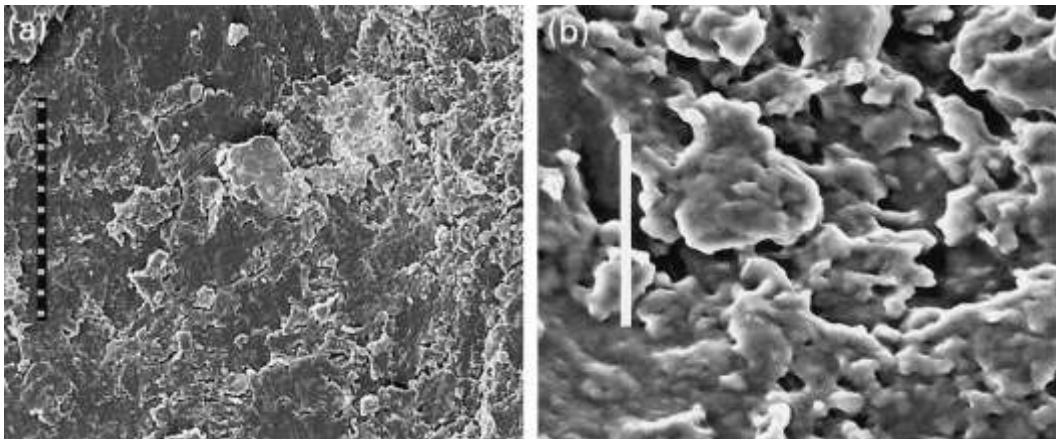


Figure 61 : image en MEB de la surface dentinaire après éviction carieuse manuelle (a) grossissement x200, la surface apparaît rugueuse avec quelques tubuli ouverts (b) grossissement x1000, forte présence de boue dentinaire (d'après Banerjee et coll., 2000)

3.3.2 Les systèmes mécaniques rotatifs

Le curetage mécanique se fait à l'aide de fraises montées sur contre-angle, qui lui-même est relié à un micromoteur.

Le principe d'action des fraises est l'élimination des tissus par abrasion, dans le cas de fraises diamantées, ou par coupe, dans le cas de fraises à lames multiples.

Étant donnée la grande diversité des fraises existantes, l'organisation internationale des références a créé la norme ISO (*International Standardization Organization*) afin de classifier simplement ces dernières (Naute, 2014).

Dans ce chapitre, il sera question de fraises diamantées, de fraises en carbure de tungstène, de fraises en céramique et de fraises en polymère.

- **Les fraises diamantées**

Les fraises diamantées sont surtout utilisées pour permettre un accès à la lésion et une mise en forme de la préparation. Les nouveautés concernent surtout les microfraises permettant d'aborder *a minima* la zone à traiter. Ce sont principalement des fraises boule, poire ou cylindrique à bout arrondi et munies d'un long col gracile permettant une meilleure visibilité et une meilleure circulation du spray et donc un refroidissement optimal de la zone. Ces fraises sont souvent regroupées en coffret (réf. 4337 4337F Komet) (Figure 62) (Tassery et coll., 2006). Ces fraises sont utilisées sur contre-angle bague rouge à 160 000 tr/min avec une irrigation abondante (50 ml/min) en exerçant une faible pression afin de ne pas casser l'instrument et générer d'échauffement (Komet, 2013).



Figure 62 : coffret de fraises 4337F à granulométrie fine (le coffret 4337 a une granulométrie standard) ; les fraises 889M / 838M / 830RM sont adaptées à la préparation de caries des puits et sillons ; les fraises 953M / 953AM possèdent une forme elliptique pour réaliser des préparations en forme d'ampoule ; les fraises 830M / 953M / 953AM permettent de réaliser des préparations arrondies lors des caries en faces proximales (d'après Komet, 2013)

- **Les fraises en carbure de tungstène**

Ce sont les fraises à lames multiples les plus répandues dans la pratique quotidienne. Leur efficacité dépend de leur géométrie de coupe ; c'est-à-dire du nombre de bords tranchants et de leur angle de coupe. Les bords tranchants peuvent être soit droits, soit en forme de spirale, avec ou sans arêtes de coupe transversales supplémentaires. Cette dernière condition permet une meilleure élimination des déchets.

Généralement, ces fraises s'utilisent avec un micromoteur et un contre-angle bague bleue sous pulvérisation air-eau afin d'éliminer les débris et de contrôler la température (Komet, 2013).

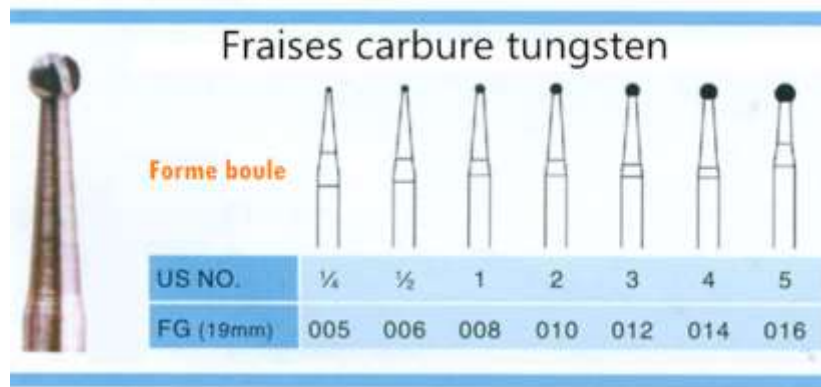


Figure 63 : différentes tailles des fraises boules en carbure de tungstène (d'après www.athenadental.fr)

C'est la technique d'excavation carieuse la plus rapide, mais également la moins conservatrice (Celiberti et coll., 2006; Neves et coll., 2011b). La fraise en carbure de tungstène peu causer d'autant plus de dégâts si elle est utilisée en association avec un détecteur de carie (Neves et coll., 2011b).

Après éviction carieuse à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène, la surface dentaire est recouverte de boue dentinaire qui oblitère tout ou partie des *tubuli* dentinaires (Figure 64). Il faut donc privilégier un adhésif avec mordantage préalable. (Sirin Karaarslan et coll., 2012).

Celiberti et coll. (2006) ont mis en évidence une grande variabilité inter opérateur dans leur étude *in vitro* réalisée sur dents temporaires.

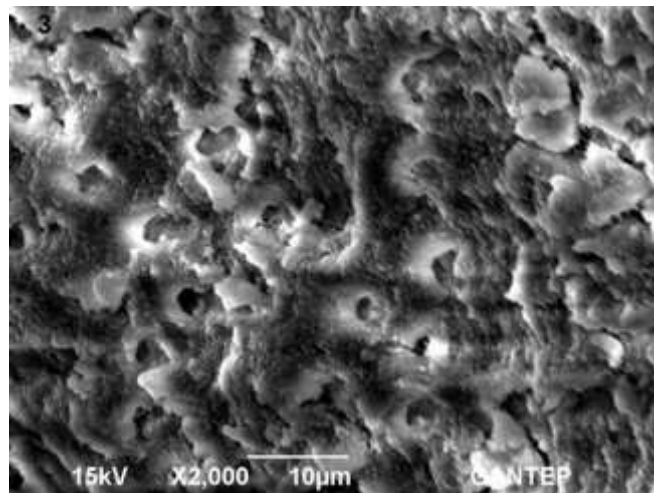


Figure 64 : image en MEB de la surface de la dentine affectée après éviction carieuse à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène (grossissement x 2000) (d'après Karaarslan et coll., 2012)

- **Les fraises en céramique**

Les fraises céramiques sont apparues sur le marché il y a quelques années. Elles sont composées de Zircone stabilisée alliée à de l'oxyde d'Alumine (ZrO_2 75% ; Al_2O_3 20% ; Y_2O_3 4%) (Dammaschke et coll., 2008). Les propriétés qui découlent de cet alliage sont une meilleure résistance à la compression, à l'usure, à l'agressivité des produits chimiques et une plus grande dureté par rapport à une fraise en carbure de tungstène. Cependant, cela les rends plus fragiles et il ne faut pas leur appliquer une pression latérale trop importante sous peine de les fracturer. Il est recommandé de ne pas les mettre en contact avec des fraises métalliques lors de la stérilisation afin de ne pas les endommager (Naute, 2014).

Elles sont commercialisées par Komet sous la dénomination Cerabur K1SM® (Figures 65 et 66). Elles se montent sur contre-angle réducteur bague bleue et s'utilisent à une vitesse de 1000 à 1500 tr/min. Le fabricant prône leur sélectivité lors de l'éviction carieuse. En effet, les fraises céramiques seraient inefficaces sur tissus sains et permettraient de n'enlever que la dentine infectée non reminéralisable (Dammaschke et coll., 2008).



Figure 65 : fraises céramiques Cerabur de différents diamètres : de gauche à droite 010, 014, 018 et 023 (d'après Neves et coll., 2011a)

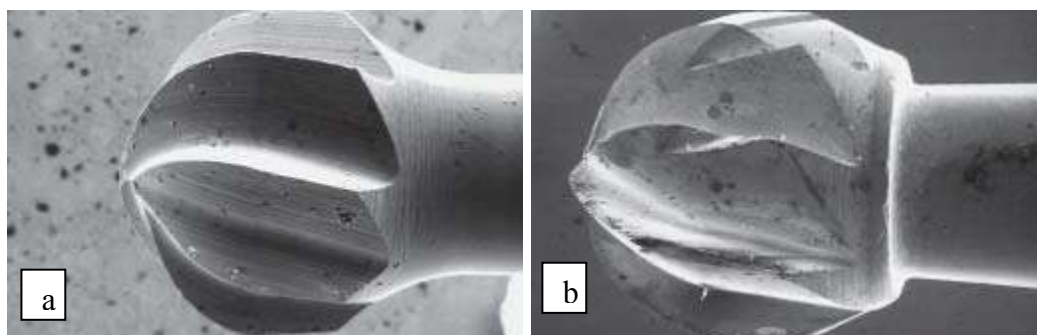


Figure 66 : (a) image en MEB d'une fraise céramique CeraBur (grossissement x40, ISO 018) (b) image en MEB d'une fraise en carbure de tungstène (grossissement x40, ISO 018) (d'après Dammaschke et coll., 2008)

Pour Dammaschke et coll. (2008) les fraises en céramique sont aussi efficaces que les fraises en carbure de tungstène tant au niveau du temps de travail qu'au niveau de la rémanence carieuse. 10,2% des dents traitées avec des fraises en céramique présentent du tissu carieux restant contre 7,9% pour les fraises en carbure de tungstène.

Neves et coll. (2011b) ont démontré que les fraises en céramique possédaient le potentiel de conservation le plus élevé (le plus proche de 1) entre toutes les techniques d'excavation testées (laser Er:YAG, Carisolv®, Cariex®, fraise en carbure de tungstène, SFC-V et SFC-VIII). Cependant, ils ont aussi mis en évidence que toutes les cavités traitées à l'aide d'une fraise en céramique présentaient du tissu carieux résiduel. De plus le ratio carie résiduelle/carie initiale est l'un des plus faible (0,15) parmi toutes les techniques traitées dans cette étude *in vitro*.

Tableau 25 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide d'une fraise en céramique

Avantages	Inconvénients
Temps de travail identique aux fraises en carbure de tungstène	Zones de sous-traitement importantes
Permet de n'enlever que la dentine infectée	Nécessité de désinfecter la cavité avant obturation
Durée de vie longue	Coût plus élevé que les fraises en carbure de tungstène
Couleur blanche permet de mieux distinguer le tissu carieux	Plus fragile

- **Les fraises en polymères**

Ces fraises sont composées d'un polymère de polyamide/imide (PAI) (Naute, 2014). À la différence des fraises en carbure de tungstène, les arêtes de coupe de ces fraises sont droites. Le matériau a été développé pour être plus dur que la dentine infectée mais moins dur que la dentine affectée. En effet, ces fraises ont une dureté Knoop de 50 alors que les dentines infectée et affectée ont des duretés respectivement comprises entre 0-30 et 70-90. Ces fraises s'émoussent au contact des tissus sains durs et sont donc à usage unique (Figure 67). Elles sont commercialisées par SS White sous le nom de SmartBurs II® (ancienne dénomination SmartPrep®) et sont disponibles en trois diamètres : 010, 014 et 018. Elles s'utilisent avec un contre-angle réducteur bague bleue à 500-800 tr/min. Le travail d'éviction doit se faire du centre de la lésion vers la périphérie (contrairement aux fraises en carbure de tungstène) en exerçant une légère pression (Damaschke et coll., 2006).

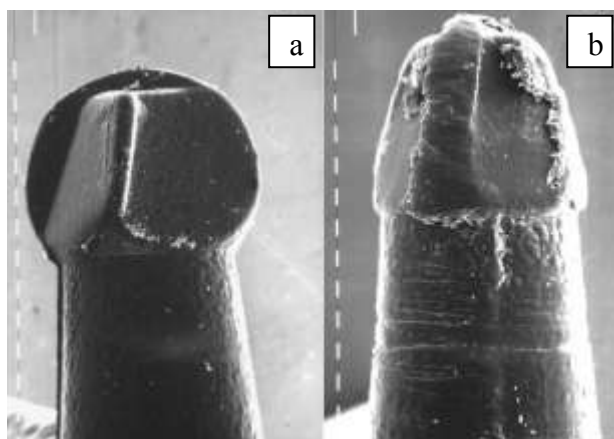


Figure 67 : images en MEB d'une fraise SmartPrep au grossissement x40 (a) avant et (b) après utilisation : l'usure de la fraise est évidente (d'après Dammaschke, 2006)

Toutes les études s'accordent à dire que les fraises en polymères nécessitent légèrement plus de temps pour la préparation d'une cavité que les fraises conventionnelles, mais que cette différence n'est pas statistiquement significative. (Celiberti et coll., 2006 ; Dammaschke et coll., 2006 ; Divya et coll., 2015 ; Meller et coll., 2007)

Meller et coll. (2007) ont montré que les fraises polymères étaient aussi efficaces que les fraises en carbure de tungstène pour l'éviction carieuse. En effet, 93% des dents sont exemptes de tissu carieux après préparation avec des fraises polymères contre 84,5% avec des fraises en carbure de tungstène.

D'autres études (Celiberti et coll., 2006 ; Dammaschke et coll., 2006) ont montré une différence significative dans l'efficacité d'éviction carieuse entre les fraises polymères et les fraises en carbure de tungstène. Dans leur étude, Dammaschke et coll. (2006) ont montré que pour 74,4 % des dents traitées avec les fraises SmartPrep, il restait du tissu carieux contre 46,3 % pour les fraises en carbure de tungstène. De plus, dans 85,3 % des cas cette couche de tissu carieux était supérieure à 1mm (69,5 % pour les fraises en carbure de tungstène). Celiberti et coll. (2006) ont d'ailleurs confirmé ces résultats dans leur étude. L'éviction carieuse à l'aide d'une fraise en polymères semblent être la technique, qui laisse le plus de tissu carieux en comparaison avec une fraise en carbure de tungstène, un laser Er:YAG et un excavateur manuel. Divya et coll. (2015) constatent un taux de bactéries plus important dans les cavités traitées avec des fraises en polymères en comparaison aux fraises en acier, au gel Papacarie® et au Carisolv® (Figure 68). Cette même étude montre qu'il n'y a pas de différence significative au niveau de l'état des *tubuli* dentinaires entre le gel Papacarie®, le Carisolv® et la fraise en polymères : très faible destruction des *tubuli*.

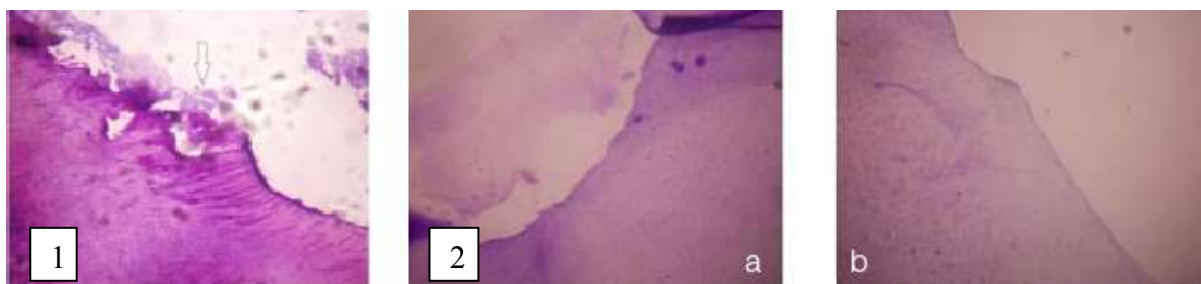


Figure 68 : coupes de cavités préparées à l'aide de (1) fraise en polymères : la présence de bactéries est indiquée par la flèche (2a) Carisolv® (2b) Papacarie® : peu ou pas de bactéries visibles (d'après Divya et coll., 2015)

Tableau 26 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de fraises en polymères

Avantages	Inconvénients
Temps de travail équivalent aux fraises traditionnelles	Zones de sous-traitement importantes
N'enlève que la dentine infectée	S'émoussent rapidement au contact des tissus sains
Limite les risques d'effraction pulpaire	Coût élevé
À usage unique	Laisse beaucoup de bactéries dans la cavité
Stérile	Nécessité de désinfection de la cavité avant obturation

3.3.3 Les systèmes chimio-mécaniques

- **Caridex®**

C'est le premier système chimio-mécanique utilisé pour une éviction carieuse sélective en enlevant uniquement la dentine infectée.

Le produit est composé d'un mélange de N-monochloro-D,L-2-aminobutyrate (NMAB, GK-101E) et d'une solution d'hypochlorite de sodium. La dentine ramollie par le NMAB est enlevée à l'aide d'un excavateur mécanique rotatif (Figure 69) (Banerjee et coll., 2000a ; Nancy et Delbos, 2005). Sa capacité à éliminer sélectivement la dentine cariée infectée et à épargner la dentine affectée a été attribuée à l'effet tampon du mélange, qui était à l'origine destiné à réduire l'agressivité de l'hypochlorite de sodium sur la dentine saine et à renforcer son effet sur le collagène dénaturé. Son mécanisme d'action réside en la chloration et le clivage des fibrilles de collagène dans la dentine cariée, qui seront plus facilement éliminées par la suite (Naute, 2014).

Étant donné que l'éviction carieuse ne concerne que la dentine infectée insensible, cette technique est moins douloureuse que les techniques d'éviction classiques et permet même d'éviter l'anesthésie dans certains cas. Du fait de l'absence de bruit et de vibrations, cette technique permet de soigner plus facilement des patients phobiques (Banerjee et coll., 2000a).

Aujourd'hui, l'emploi de ce produit a été abandonné et ce pour différentes raisons : son coût élevé, le temps de traitement important et surtout son efficacité contestée. (Nancy et Debos, 2005)



Figure 69 : exemples d'appareils Caridex® (d'après Nancy et Delbos, 2005)

- **Carisolv®**

La société suédoise MediTeam, absolument pas découragée par l'échec du Caridex®, met sur le marché, en 1998, le Carisolv®. Ce produit est susceptible de permettre « la dissolution chimique de la carie ». Le principe biologique de la dissolution chimique repose sur une attaque spécifique du collagène partiellement dégradé de la dentine infectée par une solution chlorée. La rupture des liaisons hydrogènes modifie la structure du collagène, ce qui facilite son excavation (Nancy et Delbos, 2005).

Le Carisolv® est un mélange de deux gels à base de carboxyméthylcellulose : un premier gel rouge constitué de 0,1M d'acides aminés (acide glutamique, leucine et lysine), d'hydroxyde de calcium et d'érythrosine (qui donne sa couleur rouge au mélange pour que le gel soit mieux visible dans la cavité) et un second gel contenant de l'hypochlorite de sodium à 0,5 % (Banerjee et coll., 2000a).

Le produit se présente sous forme d'une seringue à double mélange (Figure 70). Le mélange obtenu est déposé au contact de la dentine cariée à l'aide de la seringue coiffée d'un embout applicateur. Le produit doit agir pendant 30 secondes pour ramollir davantage la dentine infectée. Cette dernière sera curetée à l'aide d'instruments manuels spécifiquement

conçus pour le Carisolv® (Figure 71). Cette séquence est répétée autant de fois que nécessaire, c'est-à-dire jusqu'à ce que le gel soit exempt de débris. Toutefois, un temps maximum de contact avec les tissus de 10 minutes ne doit pas être dépassé pour la totalité de l'intervention (Naute, 2014).



Figure 70 : seringue multimix de Carisolv® et ses instruments manuels (d'après www.ijds.in)

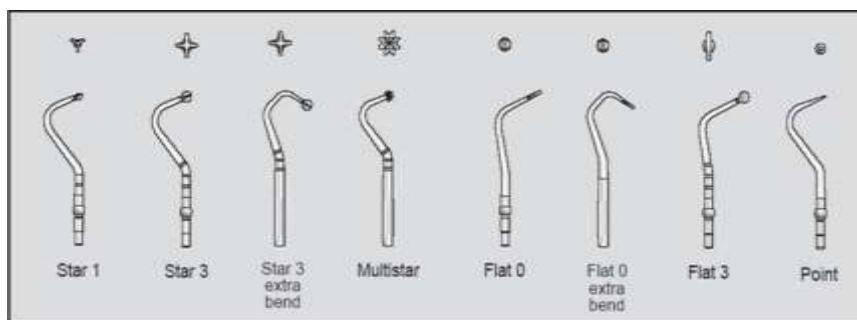


Figure 71 : les différents excavateurs manuels développés spécifiquement pour une utilisation avec le gel Carisolv® (d'après www.ijds.in)

Le Carisolv® est biocompatible avec les tissus adjacents sains (Bulut et coll., 2004 ; Dammaschke et coll., 2002) et aurait même un effet hémostatique en cas d'effraction pulpaire (Bulut et coll., 2004). Ce produit est adapté à une utilisation sur des cavités profondes et ouvertes. Cependant, il est possible d'utiliser une fraise diamantée montée sur contre-angle pour faciliter l'accès à la lésion carieuse (Naute, 2014). Divya et coll. (2015) ont, de plus, constaté une action antibactérienne du Carisolv® sur les surfaces dentaires. Étant donné que l'éviction ne concerne que la dentine infectée insensible, l'utilisation de Carisolv® permettrait, dans certains cas, d'éviter l'anesthésie locale (Banerjee et coll., 2000a).

Hahn et coll., lors de leur étude réalisée en 2004 à l'aide de la tomographie assistée par ordinateur, ont constaté que l'éviction carieuse à l'aide du gel Carisolv® n'était pas totale mais cependant suffisante.

Pour certains auteurs (Flückiger et coll., 2005) l'efficacité en termes de carie résiduelle et de microdureté après un traitement au Carisolv® est identique à une excavation manuelle. Pour d'autres (Ahmed et coll., 2012 ; Paolinelis et coll., 2008), le Carisolv® est une technique plus conservatrice que l'excavation manuelle.

En comparaison à une éviction carieuse à l'aide d'une fraise en carbure de tungstène, le Carisolv® laisserait plus de 50µm de plus de tissu carieux (Splieth et coll., 2001).

Neves et coll. (2011b), pour leur part, ont conclu que l'éviction carieuse à l'aide du Carisolv® est un bon compromis entre efficacité d'éviction carieuse et potentiel conservateur.

Suite à l'application du gel Carisolv®, la surface dentinaire est exempte de boue dentinaire et présente des *tubuli* largement ouverts (Figure 72) (Banerjee et al. 2000b). Çehreli et coll. (2003) n'ont pas constaté d'influence sur le collage de l'éviction carieuse grâce Carisolv® avec utilisation préalable d'acide phosphorique à 35%. Cependant, Sakoolnamarka et coll. (2002) ont mis en évidence une déminéralisation trop importante de la dentine par l'acide phosphorique et déconseillent son utilisation après une éviction carieuse avec le Carisolv®. Une autre étude (Sirin Karaarslan et coll., 2012) confirme ce résultat. Les auteurs de cette dernière conseillent l'utilisation d'un adhésif auto-mordant en 2 étapes.

Toutes les études (Boob et coll., 2014 ; Divya et coll., 2015 ; Flückiger et coll., 2005 ; Li et coll., 2014 ; Yazici et coll., 2003) s'accordent à dire que le plus grand inconvénient du Carisolv® est le temps de travail nécessaire pour la préparation. En effet, l'éviction carieuse à l'aide de ce gel est plus longue qu'avec les techniques d'éviction carieuse traditionnelles.

Une nouvelle version du gel Carisolv® a été mise sur le marché en 2001. Elle est deux fois plus concentrée en hypochlorite de sodium et incolore. Une étude comparative (Fure et Lingström, 2004) entre la nouvelle version et l'ancienne révèle une différence significative en termes de temps de travail sur des cavités juxta-pulpaire. Cependant, aucune différence n'est constatée pour des lésions peu ou moyennement profondes. Le suivi à un an ne révèle aucune complication, ni effet indésirable au niveau des deux versions. Cette étude révèle également

que 81% des patients interrogés préfèrent être soignés à l'aide du Carisolv[®], s'ils avaient le choix entre la méthode d'éviction carieuse traditionnelle (fraises) et le Carisolv[®].

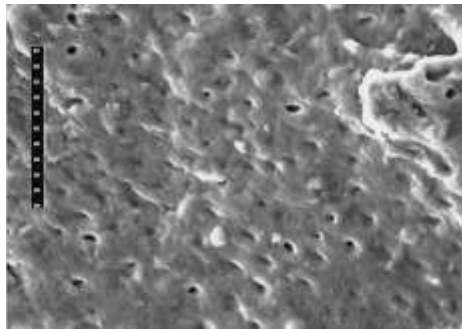


Figure 72 : image en MEB de la surface d'une cavité préparée à l'aide du gel Carisolv[®], les tubuli dentinaires ouverts sont facilement visibles (x1000) (d'après Banerjee et coll., 2000b)

Tableau 27 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de Carisolv[®]

Avantages	Inconvénients
Potentiel conservateur important car permet d'enlever uniquement la dentine infectée	Temps de travail long
Efficacité d'éviction carieuse acceptable	Coût assez important
Biocompatible avec les tissus adjacents sains	Uniquement en cas de cavités ouvertes, sinon nécessite l'intervention avec des instruments rotatifs
Action hémostatique	
Action anti-bactérienne	
Permet d'éviter l'anesthésie locale	
Permet de traiter des patients phobiques	

3.3.4 Les systèmes enzymatiques

Les systèmes enzymatiques constituent une alternative aux systèmes d'éviction carieuse chimio-mécanique. Ils sont censés avoir une action encore plus spécifique car ils ne digèrent en théorie que le collagène dénaturé par le processus carieux (une fois que l'intégrité de la triple hélice est perdue) (Neves et coll., 2011a).

Dans ce chapitre, nous étudierons trois systèmes : le SFC-VIII[®], le SFC-V[®] et le plus développé à ce jour, le gel Papacarie[®].

- **SFC-VIII® et SFC-V®**

Le SFC-VIII® et le SFC-V® sont deux gels expérimentaux développés par la société 3M ESPE. Ils sont constitués de pepsine dans une solution d'acide phosphorique et de biphosphonate de sodium. La proportion de chaque constituant varie d'un produit à l'autre (Neves et coll., 2011a).

L'acide phosphorique dissout la composante inorganique de la dentine infectée, ce qui permet à la pepsine de « digérer » à son tour la composante organique (les fibres de collagène dénaturées). De plus, le fabricant préconise d'utiliser un excavateur manuel spécifique en polymère de dureté supérieure à celle de la dentine infectée mais inférieure à celle de la dentine affectée (comme pour les fraises en polymères vues précédemment). Cet instrument est à usage unique (Figure 73) et permet d'éviter le surtraitement (Neves et coll., 2011a).

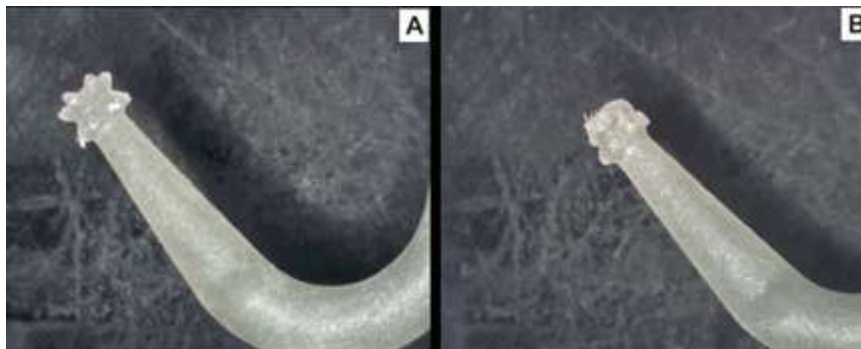


Figure 73 : excavateur expérimental en polymère conçu pour une utilisation en synergie avec le gel SFC-VIII® (a) avant utilisation et (b) après utilisation (d'après Neves et coll., 2011a)

Une étude à l'aide de la tomographie assistée par ordinateur (Clementino-Luedemann et coll., 2006) a révélé que le gel SFC-V® permettait de supprimer des volumes équivalents de dentine infectée à ceux éliminés lors de l'utilisation du Carisolv®. De plus, cette étude a montré que le SFC-V® laisse une surface moins chargée en boue dentinaire et avec des *tubuli* dentinaires plus ouverts que le Carisolv® (Figure 74).

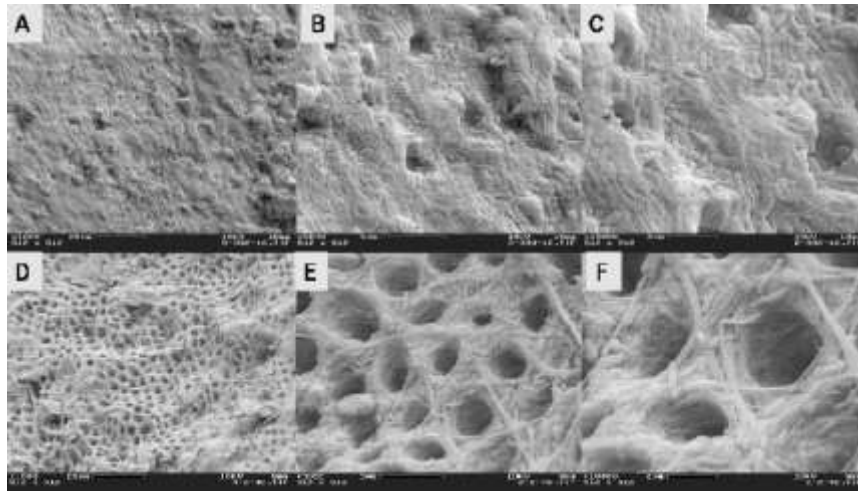


Figure 74 : images en MEB des surfaces dentinaires après curetages chimio-mécanique et enzymatique. (a) (b) et (c), grossissements respectivement x1000, x5000 et x10 000 après traitement à l'aide de Carisolv® : la surface est rugueuse avec présence de boue dentinaire et beaucoup de bactéries. (d) (e) et (f) grossissements x1000, x5000 et x10 000 respectivement après traitement par SFC-V® : peu de boue dentinaire et plus grande quantité de tubuli ouverts, fibres de collagène mieux organisées avec peu de signes de présence bactérienne (d'après Clementino-Luedemann et coll., 2006)

L'étude menée par Neves et coll. (2011b) sur le potentiel conservateur et l'efficacité des différentes techniques d'éviction carieuse a montré que le gel SFC-VIII® utilisé en association avec l'excavateur en polymère préconisé par le fabricant avait une légère tendance au sous-traitement. Le gel SFC-V®, utilisé avec un excavateur manuel en métal, quant à lui, génère plutôt un sur-traitement. Le meilleur équilibre est constaté avec le gel SFC-VIII® et un excavateur métallique. Cependant, dans les trois cas le potentiel conservateur reste très acceptable.

Une autre étude (Neves et coll., 2011a) a démontré l'excellente efficacité du gel SFC-VIII® utilisé avec l'excavateur en polymère : toute la dentine infectée a été éliminée sans toucher à la dentine affectée.

- **Papacarie®**

Papacarie® est un gel développé par des chercheurs brésiliens et disponible sur le marché depuis 2003. Il est composé de papaïne, enzyme protéolytique dérivée d'une plante (*Carica papaya*), de chloramine et de bleu de Toluidine (Jingarwar et coll., 2014).

L' α -1-antitrypsine contenue dans la dentine saine étant inhibitrice de la papaïne, cette dernière n'a donc aucun effet sur la dentine affectée mais étant uniquement sur la dentine infectée, dépourvue de ladite α -1-antitrypsine.

Le protocole est assez semblable à celui du Carisolv®. Le produit, appliqué sur la dentine cariée, doit agir 30 secondes pour des lésions actives et 40 à 60 secondes pour des lésions arrêtées. Après action, la cavité est curetée à l'aide d'un instrument manuel. Il n'y a pas besoin de rincer le produit. Une nouvelle application de Papacarie® peut se faire immédiatement et ce jusqu'à l'éviction totale de la dentine infectée (Jingarwar et coll., 2014).

Papacarie® enlèverait le même volume de tissu carieux que le Carisolv® (Boob et coll., 2014 ; Kumar et coll., 2012) tout en étant plus rapide (Boob et coll., 2014). Le temps de travail serait similaire à celui nécessaire pour une éviction carieuse à la fraise en carbure de tungstène mais avec un potentiel conservateur plus important (Motta et coll., 2014b). D'autres auteurs (Chowdhry et coll., 2015 ; Kumar et coll., 2012) ne trouvent pas de différences significatives entre le temps de travail avec le Carisolv® et celui avec le Papacarie®.

L'effet bactéricide du Papacarie®, bien que supérieur aux techniques traditionnelles (Motta et coll., 2014a), reste équivalent à celui du Carisolv® (Vinay et coll., 2015).

Tableau 28 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide du gel Papacarie®

Avantages	Inconvénients
Potentiel conservateur important car permet d'éliminer uniquement la dentine infectée Action antibactérienne Permet d'éviter l'anesthésie locale Permet de traiter des patients phobiques Temps de travail équivalent aux instruments rotatifs	Coût assez important Uniquement en cas de cavités ouvertes, sinon nécessite une intervention avec des instruments rotatifs

3.3.5 Les techniques d'éviction sonore et ultrasonique

Le son est une vibration mécanique d'un fluide ou d'un solide, qui se propage sous formes d'ondes longitudinales grâce à la déformation élastique de ce milieu. En fonction de la fréquence de l'onde, les sons sont classés dans différentes catégories (Tableau 30). En odontologie, il est surtout question de techniques utilisant des sons et des ultrasons (Decup et Lasfargues, 2014).

Tableau 29 : classification des sons en fonction de la fréquence (d'après Decup et Lasfargues, 2014)

Nom	Fréquence
Infrasons	1-20 Hz
Sons	20-20 000 Hz
Ultrasons	20-1 000 kHz
Méga-sons	1-100 MHz
Hypersons	>100 MHz

Les procédés soniques et ultrasoniques ont une efficacité dépendante de la dureté des tissus résiduels et demeurent peu efficaces sur la dentine infectée ramollie. Ces techniques permettent de réaliser des préparations cavitaires complexes type « tunnel » ou « en entonnoir », des finitions et d'autres formes variées de préparation en fonction du type d'insert (Tassery et coll., 2006).

- **Ultrasono-abrasion**

L'ultrasono-abrasion a été développée au début des années 50 par Nielson et coll. (Jingarwar et coll., 2014).

Le système le plus répandu est celui d'EMS®. Il propose des inserts double face (travaillante et non travaillante) vibrants à une fréquence ultrasonique (15-20 kHz) (Tableau 31). Ces inserts sont regroupés en coffrets dénommés « *procavity, basic cavity, basic finishing* ». Ce système s'adapte directement sur une pièce à main ultrasonique EMS (Tassery et coll., 2006).

Tableau 30 : les différents inserts ultrasoniques du système EMS et leurs applications
(d'après Tassery et coll., 2006)

Nom de l'insert	Application
Insert SM et SD	Facilite l'accès clinique pour les restaurations mésiales ou distales. Insert en forme de classe II diamanté d'un côté et lisse de l'autre
Insert VE	Préparation vestibulaire de facettes
Insert PF	Nettoyage et extension des sillons
Insert SBd et SBm	Insert demi-boule distal (d) ou mésial (m) pour la préparation des micro-cavités et la finition des bords

- **Sono-abrasion**

La sono-abrasion a été développée plus récemment et n'est ni plus ni moins qu'une version améliorée de l'ultrasono-abrasion.

Les systèmes utilisant la sono-abrasion nécessitent une pièce à main fibrée, qui crée des vibrations d'une fréquence inférieure à 6,5 kHz. L'action des différents inserts doit être refroidie par un spray d'eau important (Banerjee et coll., 2000a). Les inserts décrivent un mouvement elliptique (Neves et coll., 2011a).

Le système le plus répandu est le SONICflex® de KaVo. Il peut être utilisé pour la prophylaxie, la parodontologie, l'endodontie, la préparation prothétique et la préparation *a minima*. En ce qui concerne cette dernière, le tableau 32 résume les différents inserts et leurs applications.

Tableau 31 : récapitulatif des différents inserts soniques SONICflex® utilisés pour la préparation à minima
(d'après KaVo Dental, 2011)

Nom	Description	Applications
Sf micro n° 30 à 33	Insert en forme de demi-boule diamanté en mésial ou distal et lisse de l'autre côté	Cavités « en entonnoir » sur molaires et prémolaires, cavités de site 2 en antérieur, lésions proximales difficiles d'accès
Sf bevel n° 58 et 59	Insert en forme de demi-ellipse diamanté sur une face et lisse de l'autre	Cavités « en entonnoir » sur molaires et prémolaires, cavités de site 2 en antérieur, lésions proximales difficiles d'accès
Sf seal n°45	Insert droit pointu diamanté	Cavités peu invasives site 1, ouverture des sillons infiltrés
Sf cariex D n° 42 et 43	Insert en forme de boule diamanté	Lésions occlusales (jusqu'au 1/3 dentinaire externe)
Sf cariex TC n° 71 et 72	Insert en forme de boule en carbure de tungstène, multi-lames	Élimination de la dentine infectée

Au niveau de l'émail, la sono-abrasion se révèle être d'une efficacité limitée, mais cela lui permet d'avoir une action sélective sur l'émail altéré (démérialisation due à la carie, dysplasie de l'émail, amélogénèse imparfaite, MIH, ...) (Decup et Lasfargues, 2014).

Au niveau de la dentine, les inserts diamantés sont moins efficaces que les fraises céramiques ou en carbure de tungstène pour l'élimination de la dentine infectée (Decup et Lasfargues, 2014). Cependant, les inserts cariex TC, spécialement conçus à cette fin, semble être une alternative conservatrice avec moins de zones de sous-traitement que les fraises céramiques. Ils seraient plus efficaces dans l'élimination de la dentine cariée au niveau du plancher qu'au niveau des parois de la cavité. Des études complémentaires doivent être menées sur ces inserts (Neves et coll., 2011b).

- **État de surface et adhésion**

La surface dentaire après passage de la sono-abrasion est entièrement recouverte de boue dentinaire avec des traces d'instruments et des micro-craquelures de dimension de $30\mu \times 1\mu$ visibles à un grossissement $\times 1000$ (Figure 75) (Banerjee et coll., 2000b). Il en est de même pour l'ultrasono-abrasion (Tassery et coll., 2006).

L'éviction carieuse par sono ou ultrasono-abrasion n'a pas d'influence sur l'adhésion au niveau de la dentine affectée si les tissus ont été, au préalable, conditionnés à l'acide phosphorique à 35 % (Çehreli et coll., 2003).

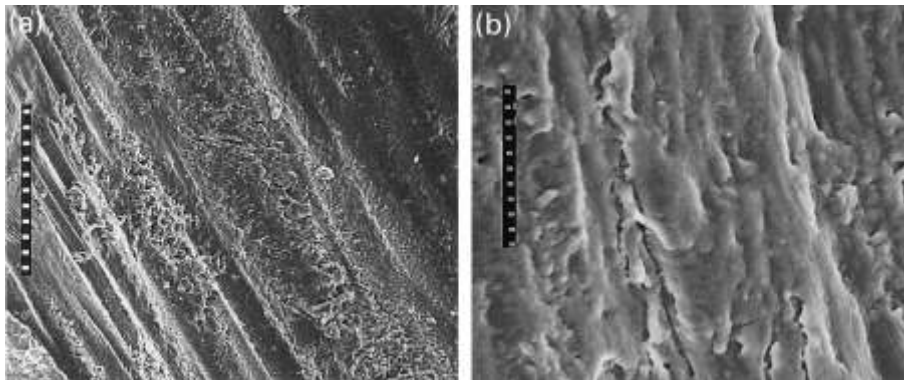


Figure 75 : image en MEB de la surface dentaire traitée par sono-abrasion (a) grossissement $\times 200$, marques de passage des instruments et boue dentinaire visibles (b) grossissement $\times 1000$, micro-craquelures visibles (d'après Banerjee et coll., 2000b)

- **Indications**

(Decup et Lasfargues, 2014)

De part leur petite taille, les inserts soniques et ultrasoniques sont particulièrement intéressants dans le traitement des lésions initiales, limitées à l'émail ou au tiers dentinaire externe (stade 1), mais peuvent également être utilisés pour des lésions de stade 2. Les techniques soniques et ultrasoniques sont applicables aux trois sites : lésions occlusales, lésions proximales et lésions cervicales.

- **Site 1**

Ces techniques sont particulièrement intéressantes pour l'économie tissulaire au niveau des secteurs postérieurs maxillaires. En effet, la visibilité limitée engendre souvent des sur-traitements que l'on peut éviter avec les inserts soniques et ultrasoniques (Figure 76).

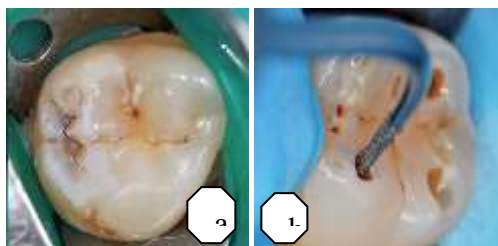


Figure 76 : (a) vue pré-opératoire d'une molaire avec lésion carieuse au niveau de la fosse distale (b) insert boule diamanté en action (d'après Decup et Lasfargues, 2014)

○ **Site 2**

L'avantage principal de l'utilisation de la sono ou ultrasono-abrasion est la possibilité d'éviter les lésions iatrogéniques au niveau des dents adjacentes lors de la préparation des cavités en site 2 grâce aux inserts demi-boule avec une face diamantée travaillante et une face lisse non travaillante. Ces inserts sont particulièrement adaptés pour des préparations « tunnel » (Figures 77 à 79) et « en entonnoir » (Figure 80) (Tassery et coll., 2009)

Cependant, ce type de préparation est contre-indiqué chez les patients à haut RCI, en cas de crête marginale dont l'épaisseur ne dépasse pas 1mm et si en fin de préparation cette dernière présente des fêlures visibles. Dans ces cas là il est préférable de réaliser des préparations avec effondrement de la crête marginale (Figures 80 et 81).



Figure 77 : cliché bite-wing des lésions de site 2 sur la 26 (d'après Tassery et coll., 2006)



*Figure 78 : insert sonore ou ultrasonique en cours de préparation d'une cavité « tunnel »
(d'après Tassery et coll., 2006)*

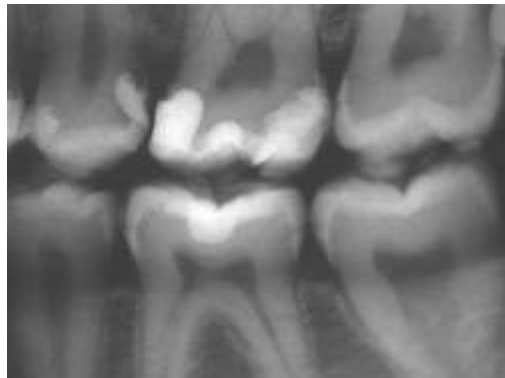


Figure 79 : bite-wing de contrôle (d'après Tassery et coll., 2006)



*Figure 80 : préparation « en entonnoir » en mésial de la 25 et en distal de la 24 ; préparation « goutte » en
distal de la 25 (d'après Tassery et coll., 2006)*



Figure 81 : préparation « goutte » en distal d'une deuxième prémolaire à l'aide d'un insert demi-boule diamanté (d'après Decup et Lasfargues, 2014)

- **Site 3** (Decup et Lasfargues, 2014)

La sono-abrasion et l'ultrasono-abrasion peuvent également être utilisées pour la préparation des cavités cervicales, car leurs inserts ont une bonne efficacité sur la dentine sclérotique dure, souvent présente dans ce type de lésions. Les inserts peuvent également servir dans le traitement des caries radiculaire proximales (Figure 82 a et b).

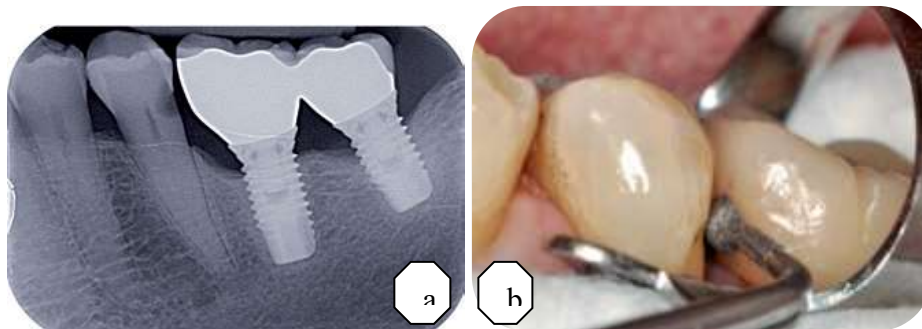


Figure 82 : préparation sonore d'une lésion difficile d'accès (a) radiographie pré-opératoire d'une lésion radiculaire distale sur la 35(b) accès vestibulaire réalisé grâce à un insert demi-boule SONICflex® micro 33 (d'après Decup et Lasfargues, 2014)

Tableau 32 : avantages et inconvénients des systèmes sonore et ultrasonique pour l'éviction carieuse
(modifié d'après Tassery et coll., 2006)

Technique	Avantages	Inconvénients
Ultrasono-abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Préservation des faces proximales adjacentes Préservation de la crête marginale Procédé plus rapide que la sono-abrasion Pièce-à-main pratique et commune avec le détartreur Autoclavable 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de créer des fissures amélaies Peu efficace sur la dentine infectée Moins rapide que les fraises Très dépendant de la dextérité de l'opérateur
Sono-abrasion	<ul style="list-style-type: none"> Préservation des faces proximales adjacentes Préservation de la crête marginale Faible risque de créer des fissures amélaies Insert angulé à 90° (meilleur accès aux cavités proximales) Pas de bruit, ni de vibrations désagréables Eviction sélective de la dentine infectée 	<ul style="list-style-type: none"> Pièce-à-main spécifique Moins rapide que l'ultrasono-abrasion et l'éviction carieuse à l'aide fraises Très dépendant de la dextérité de l'opérateur

3.3.6 Aéro-abrasion

L'aéro-abrasion a été développée par RB Black en 1945. C'est une technique utilisée en dentisterie restauratrice *a minima* au même titre que les ultra-sons ou le laser. (Tassery et coll., 2006).

L'élimination des tissus est réalisée grâce à une projection de particules d'Alumine. L'éviction carieuse se fait à l'aide de l'énergie cinétique des particules qui viennent frapper la surface dentaire et non de l'énergie mécanique comme c'est le cas pour l'éviction carieuse à l'aide de systèmes rotatifs. L'utilisation de l'aéro-abrasion entraîne une coupe des matériaux rigides, alors que pour les matériaux plus ductiles, tels que les tissus carieux, son utilisation génère un phénomène d'abrasion (Naute, 2014). En effet, l'énergie cinétique des particules étant absorbée par les tissus ductiles, l'aéro-abrasion est moins efficace (Tassery et coll., 2006).

Ce procédé est indiqué pour les lésions carieuses en site 1 et 3 hors stade 0 (Figure 83), mais également dans les techniques esthétiques de microabrasion, en complément des produits chimiques pour éliminer les discolorations superficielles, pour améliorer les états de surfaces dentinaires en vue du collage et dans les techniques intra-orales de réparations de restaurations (Tassery et coll., 2006). Certains auteurs (Jingarwar et coll., 2014) recommandent de ne l'utiliser qu'en fin de préparation pour éliminer les restes de dentine infectée.

C'est une technique relativement peu douloureuse, qui ne génère pas de bruits désagréables, ni de vibrations. Aucune différence au niveau de la réponse pulpaire en comparaison aux instruments rotatifs traditionnels n'a été constatée (Jingarwar et coll., 2014). Cependant, les inconvénients majeurs de cette technique sont le risque d'inhalation de particules ainsi qu'une visibilité limitée de la cavité au moment de la préparation (Naute, 2014).

Les principaux systèmes commercialisés en France sont le PrepK1 (EMS, France), l'Aquacut (Velopex, France) et le Rondoflex (Kavo, Allemagne) (Tassery et coll., 2006).



Figure 83 : (1) lésion de site 1 stade 0/1 (2) préparation par aéro-abrasion de la lésion occlusale (a, b)
(d'après Tassery et coll., 2006)

Les particules les plus fréquemment utilisées sont des particules d'oxyde d'aluminium (alumine). Elles ont été choisies pour leur haut pouvoir de coupe, leur stabilité chimique, leur faible coût, leur faible affinité avec l'eau et leur couleur neutre (Neves et coll., 2011a). Une étude (Paolinelis et coll., 2006) montre que l'aéro-abrasion utilisant des particules d'alumine est plus efficace sur la dentine saine que sur la dentine infectée. En effet, les auteurs ont démontré que l'efficacité d'abrasion est proportionnelle à la dureté des tissus (Neves et coll., 2011a).

En comparaison avec une mise en forme cavitaire à l'aide d'une fraise diamantée, les particules d'alumine seraient aussi efficaces dans l'élimination des tissus mais la préparation prendrait 1,5 fois plus de temps. Les deux techniques laissent de la boue dentinaire. Cependant, alors que la boue dentinaire créée par la fraise semble être adhérente à la surface dentaire, celle créée par l'aéro-abrasion proviendrait principalement des particules abrasives et n'adhérerait pas à la surface dentaire (Antunes et coll., 2008). La surface dentinaire apparaît spongieuse et poreuse avec des marques visibles matérialisant les impacts des particules (Neves et coll., 2011a). Banerjee et coll. (2000b) ont également constaté une surface avec des *tubuli* dentinaires oblitérés et des débris allant jusqu'à 15 µm de profondeur (Figure 84).

Toutefois, l'utilisation de l'aéro-abrasion n'a pas d'influence sur le collage des matériaux de restauration (Çehreli et coll., 2003 ; de Oliveira et coll., 2007), tant que l'étape de préparation de surface est réalisée à l'aide d'acide phosphorique à 35 % (Çehreli et coll., 2003).

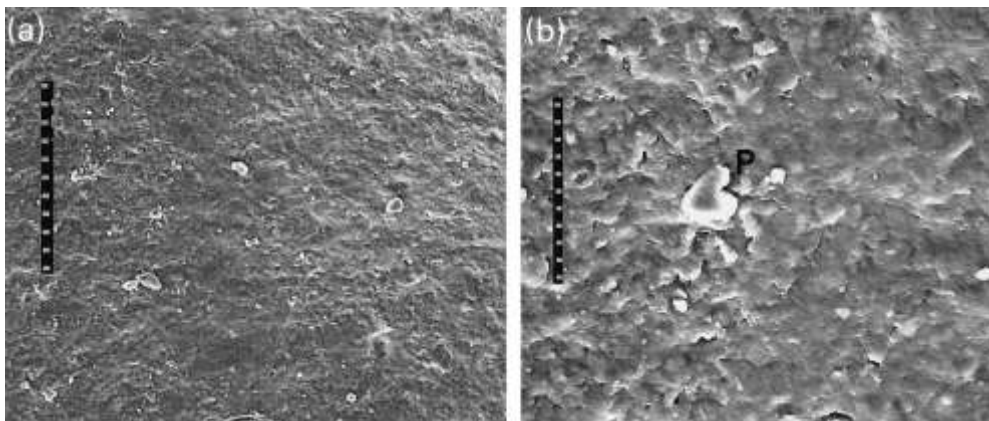


Figure 84 : image en MEB de la surface dentinaire traitée par aéro-abrasion (a) grossissement x200 ; (b) grossissement x1000 ; des petites particules (P) sont visibles, les tubuli dentinaires sont oblitérés (d'après Banerjee et coll., 2000b)

Plus récemment, une poudre avec des particules de verres bio-actifs 45S5, le Bioglass® (Novamin Technologie, USA) a été utilisée pour l'aéro-abrasion. Ce sont des particules avec un diamètre compris entre 25 et 32µm composées de SiO₂, Na₂O, CaO et P₂O₅. (Naute, 2014) Les verres bio-actifs ont été mis au point par Hench et coll. en 1972 et sont depuis utilisés en tant que matériau de comblement. Les particules de verre bio-actifs sont beaucoup moins dures que les particules d'alumine (dureté de Knoop de 420 contre 2100 pour l'alumine). Cette dureté plus faible permettrait une éviction carieuse plus sélective qu'avec la poudre d'alumine, car les tissus durs et donc sains seraient mieux préservés (Banerjee et coll., 2011). Une étude, réalisée pour comparer l'efficacité de la poudre 45S5 à celle de la poudre d'alumine au niveau de l'émail (Banerjee et coll., 2011), ne montre aucun effet délétère profond des verres bioactifs sur l'émail sain (0 cas sur 10), tandis que dans 9 cas sur 10 l'alumine provoque des dommages profonds. Dans le cas d'émail carié, il n'y a pas de différence significative entre l'action des verres bioactifs et de l'alumine (Figure 85). Le temps nécessaire pour l'éviction carieuse à l'aide de la poudre de verres bioactifs est cependant significativement plus important que pour les particules d'alumine.

Une étude réalisée au niveau de la dentine (Paolinelis et coll., 2008) a montré que les verres bioactifs enlevaient plus de dentine saine que de dentine cariée. Cependant, les verres bioactifs sont tout de même plus sélectifs que l'alumine.

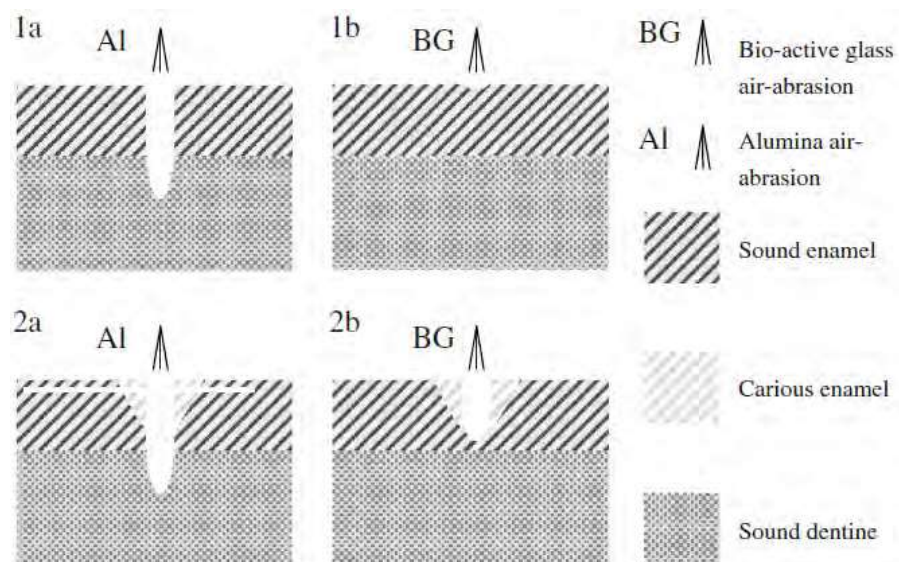


Tableau 33 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse à l'aide de l'aéro-abrasion

Avantages	Inconvénients
Non douloureux	Risque d'inhalation
Sans bruits	Absence de sensation tactile
Sans vibrations	Visibilité limitée lors de la préparation
Eviction carieuse sélective avec de la poudre de verres bioactifs	Temps de travail plus long qu'avec une technique traditionnelle
Traitement des surfaces dentinaires avant collage	Nécessite un temps d'apprentissage pour éviter les sur-traitements
Autoclavable	Eviction non sélective avec de la poudre d'alumine

3.3.7 Lasers

Dans ce domaine le laser le plus adapté est le laser Er:YAG. C'est également le laser qui a été le plus étudié. Son utilisation, sous un spray d'air et d'eau, n'entraîne pas de dommages thermiques au niveau des tissus adjacents, qu'ils soient durs ou mous (Jingarwar et coll., 2014; Keller et Hibst, 1997; Mehl et coll., 1997), contrairement à un laser Nd:YAG, qui entraîne une augmentation de la température pulpaire de 8°C (Mehl et coll., 1997). Une étude plus récente (DenBesten et coll., 2001) ne constate pas de différence significative entre l'utilisation de la fraise en carbure de tungstène sur contre-angle réducteur et le laser Er:YAG. À 3 mois, les dents des deux groupes testés sont vitales et asymptomatiques.

Les avis sont partagés quant à la capacité du laser Er:YAG à faire la distinction entre dentine infectée et dentine saine. Certains auteurs (Torres Toro et coll., 2013) trouvent que le laser est aussi sélectif que la fraise en carbure de tungstène ou la curette (Figure 86). À l'inverse, d'autres auteurs (Neves et coll., 2011a) trouvent que le laser Er:YAG n'est pas sélectif de la dentine infectée. C'est pourquoi KaVo a développé un laser avec retour de fluorescence, le Key III. Les valeurs seuil sont fixées à 6 ou 7 (Eberhard et coll., 2008; Neves et coll., 2011b; Schwass et coll., 2013). Avec ces valeurs, toute la dentine infectée est supprimée sans dommages portés aux tissus sains (Figures 87 et 88) (Schwass et coll., 2013). Cependant, une autre étude (Eberhard et coll., 2008) montre que le laser Er:YAG, muni de la technologie LIF (*Light Induced Fluorescence*), donne des résultats variables en matière de potentiel de conservation et d'efficacité d'éviction carieuse. La taille moyenne d'une cavité réalisée avec un laser Er:YAG + LIF est significativement plus grande que celle des autres

techniques d'excavation employées dans l'étude. Le laser enlève 40% de dentine cariée contre 60% de dentine saine. Ce constat lui confère un potentiel de conservation significativement bas. Selon Neves et coll. (2011b), le laser Er:YAG + LIF ne peut pas être considéré comme une technique d'éviction carieuse sélective (Figure 89).

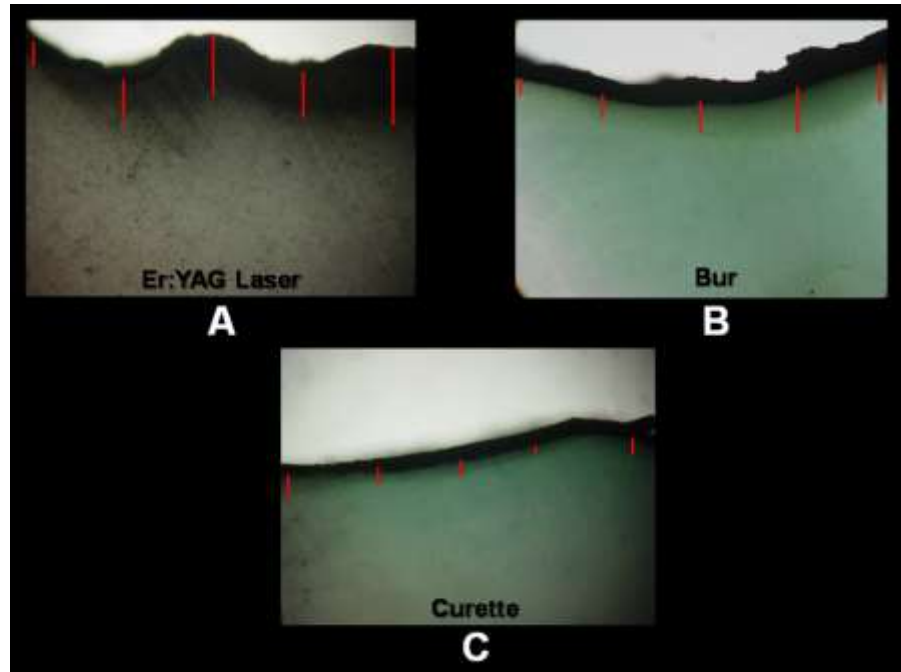


Figure 86 : analyse au microscope de la subsurface de la dentine déminéralisée (x40). Après éviction carieuse, de la dentine déminéralisée est visible dans les trois cas (d'après Torres Toro et coll., 2013)

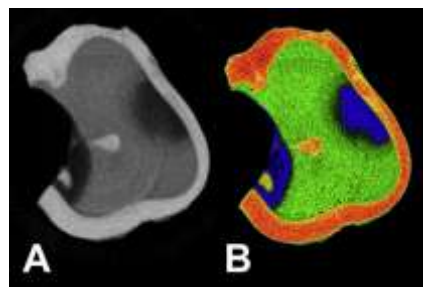


Figure 87 : a) coupe d'une dent non traitée, obtenue grâce à la micro-tomographie assistée par ordinateur ou micro-computed tomography (micro-CT), avec lésions carieuses multiples. b) cette même coupe colorée afin d'augmenter la visualisation des limites des lésions carieuses : en vert la dentine saine, en orange l'émail sain et en bleu la dentine infectée (d'après Schwass et coll., 2013)

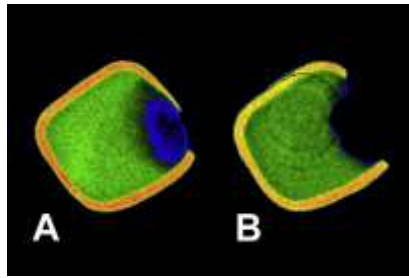


Figure 88 : a) image en micro-CT d'une dent avec lésion carieuse atteignant la dentine et en b) traitée grâce au laser Key III avec une valeur seuil de 6. Toute la dentine infectée a été éliminée car il ya absence de coloration bleue. À noter, qu'une partie de l'émail sain a été supprimée pour permettre un accès plus aisé à la lésion carieuse (d'après Schwass et coll., 2013)

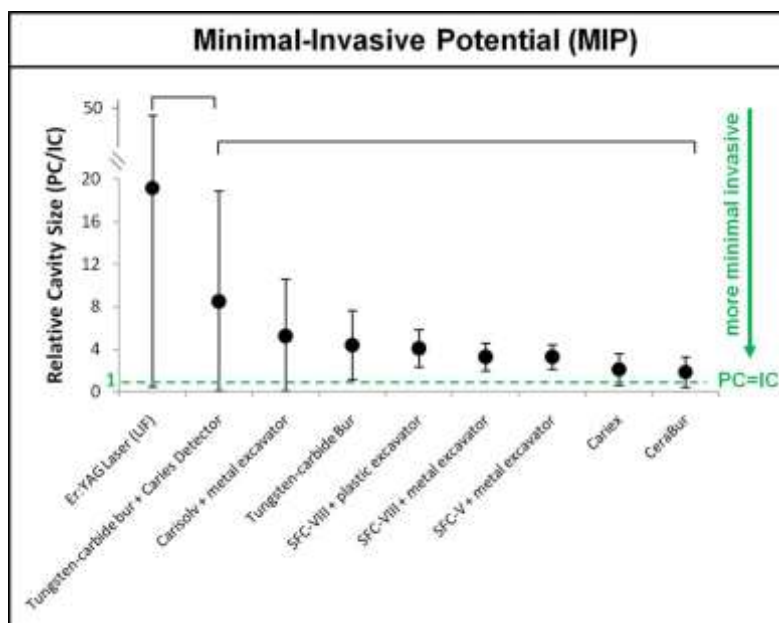


Figure 89 : comparaison du potentiel de conservation des différentes techniques d'excavation carieuse : plus la valeur se rapproche de 1 et plus la technique est conservatrice. Pour le laser Er:YAG +LIF la valeur avoisine le 50 (d'après Neves et coll., 2011b)

Dans leur étude de 2008, Eberhard et coll., évaluent la différence de tailles de cavités après éviction à l'aide du Key III (pièce à main avec et sans contact) et à l'aide de fraise en carbure de tungstène. Pour une valeur seuil de 7 le volume des cavités réalisées avec le laser et la pièce à main sans contact est significativement plus petit que le volume des cavités réalisées à l'aide de la fraise en carbure de tungstène. Il n'y a pas de différence significative pour les valeurs seuil 6 et 8. Il n'y a pas non plus de différence significative lors de la comparaison des deux pièces à main du laser et ce quelles que soient les valeurs seuil. Une étude récente (Valério et coll., 2016) montre des résultats plus mitigés. En effet, les auteurs ne constatent pas de différence significative en termes d'efficacité d'éviction carieuse entre le

laser Er:YAG et la fraise en carbure de tungstène au niveau du plancher de la cavité, alors que la fraise semble être plus efficace au niveau des parois verticales. Cette même étude révèle que le temps nécessaire pour réaliser une préparation est deux fois plus long avec le laser qu'avec la fraise : 110 secondes en moyenne pour le laser contre 55 secondes en moyenne pour la fraise. Ces résultats confirment ceux d'Aoki et coll. (1998), stipulant que temps moyen de préparation au laser est de 137 secondes contre 51 secondes pour la fraise.

Le laser ne produit pas de boue dentinaire et laisse la surface dentinaire plus perméable car il permet l'ouverture des tubuli dentinaires (Figures 90 et 91) (Aoki et coll., 1998; Jingarwar et coll., 2014 ; Neves et coll., 2011a ; Sirin Karaarslan et coll., 2012 ; Torres Toro et coll., 2013). Il n'y a pas de carbonisation, ni de craquelures à la surface dentaire après le passage du laser (Aoki et coll., 1998).

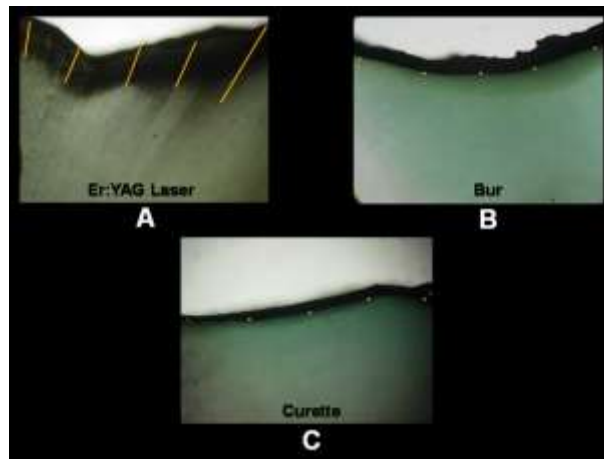


Figure 90 : la subsurface dentinaire analysée au microscope (x40). Le produit de traçage (jaune) pénètre plus en profondeur au niveau de la dent traitée par le laser témoignant d'une perméabilité plus importante de la dentine (d'après Torres Toro et coll., 2013)

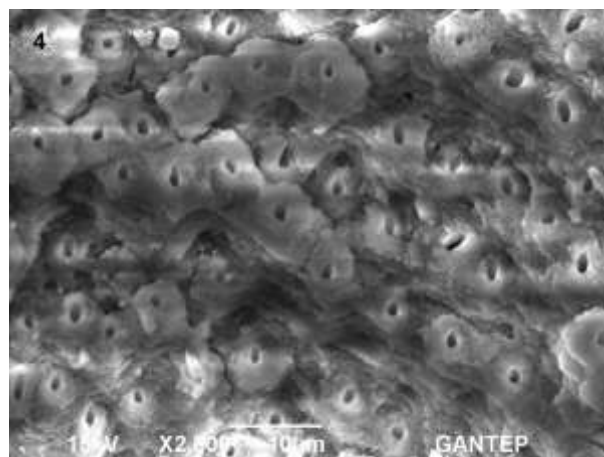


Figure 91 : image en MEB de la surface de la dentine affectée après utilisation de laser Er:YAG : les tubuli dentinaires sont ouverts et il y a absence de boue dentinaire (grossissement x40) (d'après Karaarslan et coll., 2012)

L'adhésion des matériaux d'obturation à une surface traitée par un laser dopé à l'erbium ne diffère pas de celle des autres techniques d'excavation (Arslan et coll., 2012; Yazici et coll., 2012). Cependant, il serait préférable d'utiliser un adhésif avec mordantage préalable à l'acide phosphorique (Figure 92) (Karaarslan et coll., 2012).

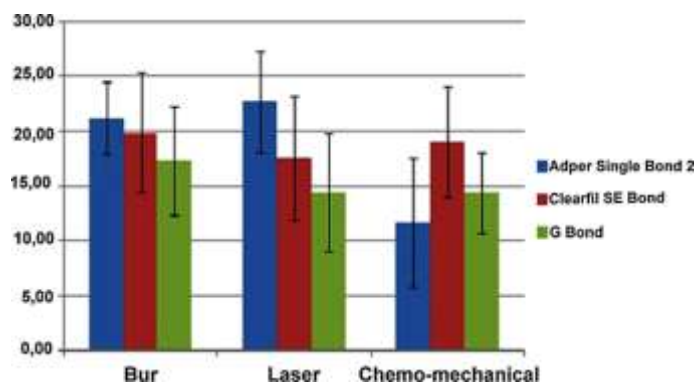


Figure 92 : force d'adhésion des différents adhésifs en fonction de la technique d'éviction carieuse : Adper Single Bond 2 = M&R 2 ; Clearfil SE Bond SAM 2 et le G-Bond = SAM 1 (d'après Karaarslan, 2012)

Tableau 34 : avantages et inconvénients de l'éviction carieuse au laser Er:YAG

Avantages	Inconvénients
Cavités plus conservatrices Diminution de la solubilité de l'émail Pas de vibrations, ni de bruit Moins de nécessité de faire des anesthésies locales Absence de boue dentinaire Perméabilité dentinaire augmentée Désinfection des surfaces dentaires	Temps de travail long Coût important du matériel Zones sous-traitées et d'autres sur-traitées dans une même cavité Technique peu sélective de la dentine infectée Pas de sensation tactile

Conclusion

L'outil de diagnostic idéal permet la détection de la lésion au stade précoce, ainsi que sa quantification de façon objective et la sauvegarde des données pour suivre son évolution.

La radiographie numérique possède de nombreux avantages par rapport à la radiographie argentique (facilité de stockage des données, irradiation minorées, rapidité d'exécution et possibilité de travailler l'image). Cependant, sa sensibilité et sa reproductibilité restent faibles et ne permettent pas toujours la détection des caries précoces occlusales.

La transillumination par fibre optique avec ou sans image numérique (respectivement DiFOTI et FOTI) est une technique de détection de la carie déjà ancienne puisqu'elle date des années 1970. Elle permet, grâce à une lumière blanche de haute intensité, de mettre en évidence des caries précoces sous forme d'ombres. Cette technique différencie la carie de l'émail de celle de la dentine au niveau de toutes les faces de la dent. Le diagnostic reste néanmoins, subjectif puisqu'il est fondé sur l'observation d'une image par le praticien.

Les techniques de fluorescence utilisent le phénomène d'autofluorescence ou fluorescence endogène des tissus dentaires, provoqué par une source lumineuse de longueur d'onde déterminée. La déminéralisation de ces tissus entraîne une réduction de l'autofluorescence par l'augmentation de diffusion de la lumière. La *Quantitative Light-induced Fluorescence* utilise une lumière de longueur d'onde de 370 nm pour apporter des informations sur la zone, la profondeur, le volume et l'activité bactérienne de la lésion. Cet outil permet la détection des caries précoces au niveau des faces vestibulaires ou palatines et occlusales, mais est inefficace au niveau des surfaces proximales. Le temps d'acquisition des données est long et peu adapté à la pratique du cabinet de ville. Les caméras LED intra-orales (SoproLife® et SoproCare® ou VistaProof® et VistaCam ix®) utilisent, elles aussi, la lumière visible pour induire l'auto-fluorescence des tissus dentaires. Elles possèdent plusieurs modes permettant de visualiser la lésion carieuse en pré- et per-opératoire. Les caméras SoproLife® et SoproCare® permettent la détection des lésions de toutes les faces dentaires, la différenciation entre carie de l'émail et carie de la dentine, mais également de distinguer les dentines infectée et affectée. Cependant, ces outils restent « praticien-dépendant » et nécessitent un certain temps d'apprentissage. La caméra VistaProof®, quant à elle, fournit un code couleur et des valeurs « seuil » pour le diagnostic carieux. Le procédé *Fluorescence Aided for Caries Excavation* constitue une aide lors de l'éviction carieuse permettant de faire la distinction entre dentines infectée et affectée lors de la préparation cavitaire. Néanmoins, il

ne s'agit pas d'un outil diagnostique à proprement parler, car il n'autorise pas la détection des lésions carieuses précoces. Le système DiagnoDent® utilise, quant à lui, la lumière laser pour provoquer la fluorescence des porphyrines bactériennes. L'intensité de la fluorescence est proportionnelle à l'intensité de l'activité bactérienne. L'appareil émet des valeurs comprises entre 0 et 99, qui permettent de distinguer la carie de l'émail de celle de la dentine. La radiométrie photo-thermale et luminescence (Canary®) utilise également le laser, dont elle transforme l'énergie en chaleur et lumière au contact des surfaces dentaires, autorisant la détection des caries précoces sur toutes les surfaces, autour des restaurations et des *sealants*, ainsi que le suivi et la quantification des phénomènes de déminéralisation et reminéralisation.

L'ozonothérapie fait partie des techniques opératoires sans préparation cavitaire permettant la désinfection d'une lésion. Néanmoins, cette technique ne peut être utilisée que comme une thérapie additionnelle en matière de reminéralisation des lésions carieuses. De nouveaux agents reminéralisants, dérivés du phosphate de calcium sont également disponibles pour compléter l'arsenal thérapeutique. Le scellement des puits et fissures chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte jeune fait partie des procédures reconnues pour leur efficacité préventive. Plus récemment, les techniques d'érosion/infiltration de lésions débutantes sont venues combler un vide thérapeutique entre la simple reminéralisation et le traitement invasif. Les lasers Er:YAG, Nd:YAG mais surtout CO₂ connaissent également des indications à des fins d'arrêt de la déminéralisation de l'émail.

Le système d'éviction carieuse idéal doit répondre à un certain nombre de critères pour satisfaire à la fois le praticien et le patient : ergonomie, éviction carieuse non douloureuse et sélective, absence de vibration, de bruits parasites, d'élévation thermique, facilité d'entretien et coût maîtrisé. Malheureusement, à ce jour aucun système ne réunit tous ces critères. Les systèmes chimio-mécaniques (Carisolv®) et enzymatiques (Papacarie®) sont, de ces points de vue, de bons compromis.

Quoi qu'il en soit, toutes ces techniques, qu'elles soient de diagnostic ou opératoires, requièrent plus de temps clinique que les techniques conventionnelles. Par ailleurs, selon le procédé, une période d'apprentissage peut être nécessaire afin d'optimiser leur utilisation. De fait, leur développement dans les cabinets de ville s'en trouve freiné. L'absence de codification CCAM représente un écueil supplémentaire à leur démocratisation.

Références bibliographiques

1. Abrams S. Detecting Caries at the Restoration Margins. Clinical Challenge, Technological Solution–The Canary System. *Oral Health*, 2014b ; 2:27–30.
2. Abrams S. Do We Really Need caries detection devices ? *Dent Teamwork*, 2014a; 7:47–50.
3. Abrams S. Using the canary system to develop a caries management program for children. *Dent Teamwork*, 2013; 6:46–50.
4. Achilleos E-E, Rahiotis C, Kakaboura A, Vougiouklakis G: Evaluation of a new fluorescence-based device in the detection of incipient occlusal caries lesions. *Lasers Med Sci*. 2013; 28:193–201.
5. Ahmed M, Davis GR, Wong FSL. X-Ray Microtomography Study to Validate the Efficacies of Caries Removal in Primary Molars by Hand Excavation and Chemo-Mechanical Technique. *Caries Res*. 2012 ; 46:561–567.
6. Ana PA, Tabchoury CPM, Cury JA, Zezell DM. Effect of Er,Cr:YSGG Laser and Professional Fluoride Application on Enamel Demineralization and on Fluoride Retention. *Caries Res*. 2012 ; 46:441–451.
7. Antunes LAA, Pedro RL, Vieira ÁSB, Maia LC. Effectiveness of high speed instrument and air abrasion on different dental substrates. *Braz Oral Res*. 2008 ; 22:235–241.
8. Azevedo Rodrigues LK, Nobre dos Santos M, Pereira D, Videira Assaf A, Pardi V: Carbon dioxide laser in dental caries prevention. *J Dent*. 2004 ; 32:531–540.
9. 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 d'exercice en chirurgie dentaire. [Brest] : Université de Bretagne occidentale ; 2012. 123p.
10. Bakhshandeh A, Qvist V, Ekstrand KR. Sealing occlusal caries lesions in adults referred for restorative treatment: 2–3 years of follow-up. *Clin Oral Investig*. 2012; 16: 521–529.

11. Banerjee A, Kidd EAM, Watson TF. Scanning electron microscopic observations of human dentine after mechanical caries excavation. *J Dent.* 2000b; 28: 179–186.
12. Banerjee A, Thompson ID, Watson TF. Minimally invasive caries removal using bio-active glass air-abrasion. *J Dent.* 2011; 39: 2–7.
13. Banerjee A, Watson TF, Kidd EAM. Conservative dentistry: dentine caries excavation: a review of current clinical techniques. *Br Dent J.* 2000a; 188: 476–482.
14. Betrisey E, Rizcalla N, Krejci I, Ardu S. Caries diagnosis using light fluorescence devices: VistaProof and DIAGNOdent. *Odontology.* 2014; 102: 330–335.
15. Boob AR, Manjula M, Reddy ER, Srilaxmi N, Rani T. Evaluation of the Efficiency and Effectiveness of Three Minimally Invasive Methods of Caries Removal: An in vitro Study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2014; 7: 11–17.
16. Bulut G, Zekioglu O, Eronat C, Bulut H. Effect of Carisolv on the human dental pulp: a histological study. *J Dent.* 2004; 32: 309–314.
17. Çehreli ZC, Yazici AR, Akca T, Özgünaltay G. A morphological and micro-tensile bond strength evaluation of a single-bottle adhesive to caries-affected human dentine after four different caries removal techniques. *J Dent.* 2003; 31: 429–435.
18. Celiberti P, Francescut P, Lussi A. Performance of Four Dentine Excavation Methods in Deciduous Teeth. *Caries Res.* 2006a; 40: 117–123.
19. Celiberti P, Francescut P, Lussi A. Performance of Four Dentine Excavation Methods in Deciduous Teeth. *Caries Res.* 2006b; 40: 117–123.
20. Chowdhry S, Saha S, Samadi F, Jaiswal JN, Garg A, Chowdhry P. Recent vs Conventional Methods of Caries Removal: A Comparative in vivo Study in Pediatric Patients. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2015; 8: 6.
21. Clementino-Luedemann TN, Dabanoglu A, Ilie N, Hickel R, Kunzelmann KH. Micro-computed tomographic evaluation of a new enzyme solution for cariesremoval in deciduous teeth. *Dent Mater J.* 2006; 25: 675–683.

22. Correa-Afonso AM, Ciconne-Nogueira JC, Pécora JD, Palma-Dibb RG. In vitro assessment of laser efficiency for caries prevention in pits and fissures. *Microsc Res Tech.* 2012; 75: 245–252.
23. Dammaschke T, Rodenberg TN, Schäfer E, Ott KHR. Efficiency of the Polymer Bur SmartPrep Compared with Conventional Tungsten Carbide Bud Bur in Dentin Caries Excavation. *Oper Dent.* 2006; 31: 256–260.
24. Dammaschke T, Stratmann U, Mokryš K, Kaup M, Ott KHR. Reaction of sound and demineralised dentine to Carisolv in vivo and in vitro. *J Dent.* 2002; 30: 59–65.
25. Dammaschke T, Vesnić A, Schäfer E. In vitro comparison of ceramic burs and conventional tungsten carbide bud burs in dentin caries excavation. *Quintessence Int.* 2008; 39(6): 495-499.
26. De Benedetto MS, Morais CC, Novaes TF, de Almeida Rodrigues J, Braga MM, Mendes FM. Comparing the reliability of a new fluorescence camera with conventional laser fluorescence devices in detecting caries lesions in occlusal and smooth surfaces of primary teeth. *Lasers Med Sci.* 2011; 26: 157–162.
27. De Oliveira MT, De Freitas PM, De Paula Eduardo C, Ambrosano GM, Giannini M. Influence of diamond sono-abrasion, air-abrasion and Er: YAG laser irradiation on bonding of different adhesive systems to dentin. *Eur J Dent.* 2007; 1: 158–166.
28. Decup F, Lasfargues J-J. Minimal intervention dentistry II: part 4. Minimal intervention techniques of preparation and adhesive restorations. The contribution of the sono-abrasive techniques. *BDJ.* 2014; 216: 393–400.
29. Divya G, Prasad M, Vasa AAK, Vasanth D, Ramanarayana B, Mynampati P. Evaluation of the Efficacy of Caries Removal Using Polymer Bur, Stainless Steel Bur, Carisolv, Papacarie – An In vitro Comparative Study. *J Clin Diagn Res.* 2015; 9(7): 42-46.
30. Doméjean S, Ducamp R, Léger S, Holmgren C. Resin Infiltration of Non-Cavitated Caries Lesions: A Systematic Review. *Med Princ Pract.* 2015; 24: 216–221.

31. Duggal MS, Nikolopoulou A, Tahmassebi JF. The Additional Effect of Ozone in combination with adjunct remineralisation products on Inhibition of Demineralisation of the Dental Hard Tissues in Situ. *J Dent*. 2012; 40:934–940.
32. Duran J. Apport de l’ozone dans la prise en charge des maladies parodontales. Thèse d’exercice en chirurgie dentaire. [Toulouse III] Université Paul Sabatier. 2014. 102p.
33. Erol S, Kamak H, Erten H. Evaluation of Caries Dentin using Light- Induced Fluorescence: A Case Report. *J Clin Diagn Res*. 2014; 8(1): 297-298.
34. 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: 87–90.
35. Fure S, Lingström P. Evaluation of the chemomechanical removal of dentine caries in vivo with a new modified Carisolv gel. *Clin Oral Investig*. 2004; 8: 139-144.
36. Ganter P, Al-Ahmad A, Wrbas K-T, Hellwig E, Altenburger MJ. The use of computer-assisted FACE for minimal-invasive caries excavation. *Clin Oral Investig*. 2014; 18: 745–751.
37. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2004; 15: 13–27.
38. Gomez J, Zakian C, Salsone S, Pinto SCS, Taylor A, Pretty IA, Ellwood R. In vitro performance of different methods in detecting occlusal caries lesions. *J Dent*. 2013; 41: 180–186.
39. Gomez J. Detection and diagnosis of the early caries lesion. *BMC Oral Health*. 2015; 15: S3, 2015.
40. Guerrieri A, Gaucher C, Bonte E, Lasfargues JJ. Minimal intervention dentistry: part 4. Detection and diagnosis of initial caries lesions. *BDJ*. 2012; 213:551–557.
41. Gugnani N, Pandit IK, Srivastava N, Gupta M, Gugnani S. Light induced fluorescence evaluation : a novel concept of caries diagnosis and excavation. *J Conserv Dent*. 2011; 14:418–422.

42. Hauser-Gerspach I, Pfäffli-Savtchenko V, Dähnhardt JE, Meyer J, Lussi A. Comparison of the immediate effects of gaseous ozone and chlorhexidine gel on bacteria in cavitated carious lesions in children in vivo. *Clin Oral Investig.* 2009; 13:287–291.
43. Hellen A, Mandelis A, Finer Y, Amaechi BT. Quantitative remineralization evolution kinetics of artificially demineralized human enamel using photothermal radiometry and modulated luminescence. *J Biophotonics.* 2011; 4:788–804.
44. Hesse D, Bonifácio CC, Mendes FM, Braga MM, Imparato JCP, Raggio DP. Sealing versus partial caries removal in primary molars: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health.* 2014; 14:1.
45. Holmgren C, Gaucher C, Decerle N, Doméjean S. Minimal intervention dentistry II: part 3. Management of non-cavitated (initial) occlusal caries lesions – non-invasive approaches through remineralisation and therapeutic sealants. *BDJ.* 2014; 216:237–243.
46. 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. *BDJ.* 2013 ; 214:11–1.
47. Houvion E. Le biofilm dentaire: composition, formation et propriétés. [Nancy] Université de Lorraine. 2014. 129p.
48. Huth KC, Lussi A, Gygax M, Thum M, Crispin A, Paschos E, Hickel R, Neuhaus KW. In vivo performance of a laser fluorescence device for the approximal detection of caries in permanent molars. *J Dent.* 2010; 38:1019–1026.
49. Huth KC, Neuhaus KW, Gygax M, Bücher K, Crispin A, Paschos E, Hickel R, Lussi A. Clinical performance of a new laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions in permanent molars. *J Dent.* 2008; 36:1033–1040.
50. Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson H, Pitts NB. The international caries detection and assessment system (ICDAS): an intergrated system for measuring dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol.* 2007; 35:170-178.

51. Jablonski-Momeni A, Liebegall F, Stoll R, Heinzl-Gutenbrunner M, Pieper K. Performance of a new fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Lasers Med Sci.* 2013; 28:101–109.
52. Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K. Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. *Odontology.* 2011; 99:55–61.
53. Jablonski-Momeni A, Stucke J, Steinberg T, Heinzl-Gutenbrunner M. Use of ICDAS-II, Fluorescence-Based Methods, and Radiography in Detection and Treatment Decision of Occlusal Caries Lesions: An In Vitro Study. *Int J Dent.* 2012; 2012:1–8.
54. Jallad M, Zero D, Eckert G, Ferreira Zandona A. In vitro Detection of Occlusal Caries on Permanent Teeth by a Visual, Light-Induced Fluorescence and Photothermal Radiometry and Modulated Luminescence Methods. *Caries Res.* 2015; 49:523–530.
55. Javaheri M, Maleki-Kambakhsh S, Etemad-Moghadam S. Efficacy of two caries detector dyes in the diagnosis of dental caries. *J Dent Tehran Iran.* 2010; 7:71.
56. Jingarwar M, Bajwa N, Pathak A. Minimal Intervention Dentistry – A New Frontier in Clinical Dentistry. *J Clin Diagn Res.* 2014; 8(7): ZE04-ZE08.
57. Jo S-Y, Chong H-J, Lee E-H, Chang N-Y, Chae J-M, Cho J-H, Kim S-C, Kang K-H. Effects of various toothpastes on remineralization of white spot lesions. *Korean J Orthod.* 2014; 44:113.
58. Johansson E, Claesson R, van Dijken JWV. Antibacterial effect of ozone on cariogenic bacterial species. *J Dent.* 2009; 37:449–453.
59. Johansson E, van Dijken JWV, Karlsson L, Andersson-Wenckert I. Treatment effect of ozone and fluoride varnish application on occlusal caries in primary molars: a 12-month study. *Clin Oral Investig.* 2014; 18:1785–1792.
60. Joharji R, Adenubi J. Prevention of pits and fissure caries using an antimicrobial varnish: 9 month clinical evaluation. *J Dent.* 2001; 29:247–254.
61. Khun J. Les indications des lasers en médecine dentaire. Thèse d'exercice en chirurgie dentaire. [Nancy] Université de Lorraine. 2010. 199p.

62. Kumar J, Nayak M, Prasad KL, Gupta N. A comparative study of the clinical efficiency of chemomechanical caries removal using Carisolv and Papacarie-a papain gel. *Indian J Dent Res.* 2012; 23:697.
63. Lasfargues JJ et Colon P. *odontology conservatrice. Tome 1 : une approche médicale globale.* Editions CdP. 2009. 480 p.
64. Lasfargues JJ, Bonte E, Guerrieri A, Fezzani L. Minimal intervention dentistry: part 6. Caries inhibition by resin infiltration. *BDJ.* 2013; 214:53–59.
65. Lennon M, Attin T, Buchalla W: Quantity of Remaining Bacteria and Cavity Size After Excavation with FACE, Caries Detector Dye and Conventional Excavation *In Vitro.* *Oper Dent.* 2007; 32:236–241.
66. Lennon M. Fluorescence-aided caries excavation compared to conventional method. *Oper Dent.* 2003; 28:341–345.
67. Lennon M., Buchalla W, Rassner B, Becker K, Attin T. Efficiency of 4 Caries Excavation Methods Compared. *Oper Dent.* 2006; 31:551–555.
68. Li R, Zhao Y, Ye L. How to make choice of the carious removal methods, Carisolv or traditional drilling? A meta-analysis. *J Oral Rehabil.* 2014; 41:432–442.
69. Linde A, Goldberg M. Dentinogenesis. *Crit Rev Oral Biol Med.* 1993; 4:679–728.
70. Liu J, Liu Y, Stephen HC-Y. Optimal Er:YAG laser energy for preventing enamel demineralization. *J Dent.* 2006; 34:62–66.
71. Lussi A, Hellwig E. Performance of a new laser fluorescence device for the detection of occlusal caries in vitro. *J Dent.* 2006; 34:467–471.
72. Manton D. Diagnosis of the early carious lesion. *Aust Dent J.* 2013; 58:35–39.
73. Martignon S, Ekstrand KR, Gomez J, Lara JS, Cortes A. Infiltrating/Sealing Proximal Caries Lesions: A 3-year Randomized Clinical Trial. *J Dent Res.* 2012; 91:288–292.
74. McComb D. Caries detector dyes - How accurate and useful are they? *J-Can Dent Assoc.* 2000; 66:195–198, 2000.

75. Mehl A, Kremers L, Salzmann K, Hickel R. 3D volume-ablation rate and thermal side effects with the Er:YAG and Nd:YAG laser. *Dent Mater.* 1997; 13:246-251.
76. Meller C, Welk A, Zeligowski T, Splieth C. Comparison of dentin caries excavation with polymer and conventional tungsten carbide burs. *Quintessence Int.* 2007; 38.
77. Melo M, Pascual A, Camps I, Del Campo. In vivo study of different methods for diagnosing pit and fissure caries. *J Clin Exp Dent.* 2015; e387–e391.
78. Mobley CC. Nutrition and dental caries. *Dent Clin North Am.* 2003; 47:319–336.
79. Moriyama CM, Rodrigues JA, Lussi A, Diniz MB. Effectiveness of Fluorescence-Based Methods to Detect in situ Demineralization and Remineralization on Smooth Surfaces. *Caries Res.* 2014a; 48:507–514.
80. Moriyama CM, Rodrigues JA, Lussi A, Diniz MB. Effectiveness of Fluorescence-Based Methods to Detect in situ Demineralization and Remineralization on Smooth Surfaces. *Caries Res.* 2014b; 48:507–514.
81. Motta L, Bussadori S, Campanelli A, Silva A, Alfaya T, Godoy C, Navarro M. Efficacy of Papacarie® in reduction of residual bacteria in deciduous teeth: a randomized, controlled clinical trial. *Clinics.* 2014a; 69:319–322.
82. Motta LJ, Bussadori SK, Campanelli AP, Silva AL da, Alfaya TA, Godoy CHL de, Navarro MF de L. Randomized controlled clinical trial of long-term chemo-mechanical caries removal using Papacarie™ gel. *J Appl Oral Sci.* 2014b ; 22:307–313.
83. Nancy J, Delbos Y. Carisolv ou la dissolution chimique de la carie à la portée de tous enfin opérationnelle. *Rev Odontostomatol (Paris).* 2005 ; 34:293–300.
84. Naute O. les techniques d'éviction carieuse : mise au point en 2014. Thèse d'exercice en chirurgie dentaire. [Toulouse III] Université Paul Sabatier. 2014. 118p.
85. Neves A, Coutinho E, Cardoso MV, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Current concepts and techniques for caries excavation and adhesion to residual dentin. *J Adhes Dent.* 2011a; 13:7–22.

86. Neves A, Coutinho E, De Munck J, Van Meerbeek B. Caries-removal effectiveness and minimal-invasiveness potential of caries-excitation techniques: A micro-CT investigation. *J Dent.* 2011b; 39:154–162.
87. Paolinelis G, Banerjee A, Watson TF. An in vitro investigation of the effect and retention of bioactive glass air-abrasive on sound and carious dentine. *J Dent.* 2008; 36:214–218.
88. Paolinelis G, Watson TF, Banerjee A. Microhardness as a Predictor of Sound and Carious Dentine Removal Using Alumina Air Abrasion. *Caries Res.* 2006; 40:292–295.
89. Paris S, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H. Resin Infiltration of Caries Lesions: an Efficacy Randomized Trial. *J Dent Res.* 2010; 89:823–826.
90. Paris S, Schwendicke F, Keltsch J, Dörfer C, Meyer-Lueckel H. Masking of white spot lesions by resin infiltration in vitro. *J Dent.* 2013; 41:e28–e34.
91. Peskersoy C, Turkun M, Onal B: Comparative clinical evaluation of the efficacy of a new method for caries diagnosis and excavation. *J Conserv Dent.* 2015; 18:364-368.
92. Phark JH, Duarte S, Meyer-Lueckel H, Paris S. Caries Infiltration with Resins : a novel treatment option for interproximal caries. *Compend Cont Educ Dent.* 2009; 3:13–17.
93. Poosti M, Ahrari F, Moosavi H, Najjaran H. The effect of fractional CO₂ laser irradiation on remineralization of enamel white spot lesions. *Lasers Med Sci.* 2014; 29:1349–1355.
94. Pretty IA. Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *J Dent.* 2006; 34:727–739.
95. Rechmann P, Charland DA, Rechmann BMT, Featherstone JDB. Performance of laser fluorescence devices and visual examination for the detection of occlusal caries in permanent molars. *J Biomed Opt.* 2012; 17:0360061–03600615.
96. Rechmann P, Charland DA, Rechmann BMT, Le CQ, Featherstone JDB. In-vivo occlusal caries prevention by pulsed CO₂-laser and fluoride varnish treatment-A clinical pilot study: in-vivo occlusal caries prevention. *Lasers Surg Med.* 2013; 45:302–310.
97. Rechmann P, Fried D, Le CQ, Nelson G, Rapozo-Hilo M, Rechmann BMT, Featherstone JDB. Caries inhibition in vital teeth using 9,6µm CO₂ laser irradiation. *J Biomed Opt.* 2011; 16:1–6.

98. Reis A, Mendes FM, Angnes V, Angnes G, Grande RHM, Loguercio AD. Performance of methods of occlusal caries detection in permanent teeth under clinical and laboratory conditions. *J Dent.* 2006; 34:89–96.
99. Shetty S, Hegde M, Bopanna T. Enamel remineralization assessment after treatment with three different remineralizing agents using surface microhardness: An in vitro study. *J Conserv Dent* 17:49, 2014.
100. Shimada Y, Sadr A, Sumi Y, Tagami J: Application of Optical Coherence Tomography (OCT) for Diagnosis of Caries, Cracks, and Defects of Restorations. *Curr Oral Health Rep.* 2015; 2:73–80.
101. Silva BB, Severo NB, Maltz M. Validity of diode laser to monitor carious lesions in pits and fissures. *J Dent.* 2007; 35:679–682.
102. Simon S, Cooper P, Berdal A, Machtou P, Smith AJ. Biologie pulpaire : comprendre pour appliquer au quotidien. *Rev Odontostomatol (Paris).* 2008; 37:209–235.
103. Simonsen RJ. From prevention to therapy: Minimal intervention with sealants and resin restorative materials. *J Dent.* 2011; 39:S27–S33.
104. Sirin Karaarslan E, Yildiz E, Cebe MA, Yegin Z, Ozturk B. Evaluation of micro-tensile bond strength of caries-affected human dentine after three different caries removal techniques. *J Dent.* 2012; 40:793–801.
105. Souza-Gabriel AE, Turssi CP, Colucci V, Tenuta LMA, Serra MC, Corona SAM. In situ study of the anticariogenic potential of fluoride varnish combined with CO₂ laser on enamel. *Arch Oral Biol.* 2015; 60:804–810.
106. Splieth C, Rosin M, Gellissen B. Determination of residual dentine caries after conventional mechanical and chemomechanical caries removal with Carisolv. *Clin Oral Investig.* 2001; 5:250–253.
107. Tahmassebi JF, Chrysafi N, Duggal MS. The effect of ozone on progression or regression of artificial caries-like enamel lesions in vitro. *J Dent.* 2014; 42:167–174.

108. Tan MHX, Hill RG, Anderson P. Comparing the Air Abrasion Cutting Efficacy of Dentine Using a Fluoride-Containing Bioactive Glass versus an Alumina Abrasive: An *In Vitro* Study. *Int J Dent*. 2015; 2015:1–8.
109. Tassery H, Levallois B, Terrer E, Manton D, Otsuki M, Koubi S, Gugnani N, Panayotov I, Jacquot B, Cuisinier F, Rechmann P. Use of new minimum intervention dentistry technologies in caries management. *Aust Dent J*. 2013; 58:40–59.
110. Tassery H, Victor JL, Coudert G, Brouillet JL, Koubi S. *Dentisterie restauratrice a minima*. EMC-Odontol Elsevier Paris. 2006; 23–145.
111. Teo TK-Y, Ashley PF, Louca C. An in vivo and in vitro investigation of the use of ICDAS, DIAGNOdent pen and CarieScan PRO for the detection and assessment of occlusal caries in primary molar teeth. *Clin Oral Investig*. 2014; 18:737–744.
112. Tepper SA, Zehnder M, Pajarola GF, Schmidlin PR. Increased fluoride uptake and acid resistance by CO₂ laser-irradiation through topically applied fluoride on human enamel in vitro. *J Dent*. 2004; 32:635–641.
113. Torres Toro VC, Dos Reis Derceli J, Jendiroba Faraoni-Romano J, Marchi P, Djalma Pécora J, Guenka Palma-Dibb R. The use of an Er:YAG laser to remove demineralized dentin and its influence on dentin permeability: Removal of Demineralized Dentin using the Er:YAG Laser. *Microsc Res Tech*. 2013; 76:225–230.
114. Valério RA, Borsatto MC, Serra MC, Fernandes Polizeli SA, Alencar Nemezio M, Galo R, Aires CP, dos Santos AC, Milori Corona SA. Caries removal in deciduous teeth using an Er:YAG laser : a randomized split-mouth clinical trial. *Clin Oral Invest*. 2016 ; 20 :65-73.
115. Vinay M, Sai AJ, Girish V, Kolli H, Ganta H, Kumar P. Efficacy of antimicrobial property of two commercially available chemomechanical caries removal agents (Carisolv and Papacarie): an ex vivo study. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2015; 5:183–189.
116. Yap A. U. J. *Dentisterie cosmétique micro-invasive : quand moins c'est plus*. *Cosmetic dent*. 2012; 3: 14-20.

117. Yazici AR, Atilla P, Özgünaltay G, Müftüoğlu S. In vitro comparison of the efficacy of Carisolv™ and conventional rotary instrument in caries removal. *J Oral Rehabil.* 2003; 30:1177–1182.
118. Zamataro CB, Ana PA, Benetti C, Zezell DM. Influence of Er,Cr:YSGG *Laser* on CaF₂-like products formation because of professional acidulated fluoride or to domestic dentifrice application: ER,Cr:YSGG, APF and Dentifrice on F FORMATION. *Microsc Res Tech.* 2013; 76:704–713.
119. Zavgorodniy AV, Rohanizadeh R, Swain MV. Ultrastructure of dentine carious lesions. *Arch Oral Biol.* 2008; 53:124–132.
120. Zeitouny M, Feghali M, Nasr A, Abou-Samra P, Saleh N, Bourgeois D, Farge P. SOPROLIFE System: An Accurate Diagnostic Enhancer. *Sci World J.* 2014; 2014:1–8.

Références Bibliographiques électroniques

121. DMG. Icon® - une révolution dans le traitement des caries sans fraiser [en ligne]. 2011a. Disponible sur <http://fr.dmg-dental.com/downloads/fiches-de-produit/?download=164> Consulté le 13 février 2016.
122. DMG. Mode d'emploi du produit Icon® [en ligne]. 2011b. Disponible sur <http://fr.dmg-dental.com> Consulté le 13 février 2016.
123. Dürr Dental. Livret de présentation de VistacamiX [en ligne]. Disponible sur <https://www.duerrdental.com/fr/produits/imagerie/vistacam-les-systemes-de-camera-intra-oraux/vistacam-ix> Consulté le 26 novembre 2015.
124. HAS. Appréciation du risque carieux et indications du scellement prophylactique des sillons des premières et deuxième molaires permanentes chez les sujets de moins de 18 ans. 2005. [en ligne]. Disponible sur http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/Puits_Sillons_recos.pdf Consulté le 22 février 2016.

125. HAS. Stratégies de prévention de la carie dentaire. 2010. [en ligne]. Disponible sur http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2010-10/corriges_rapport_cariedentaire_version_postcollege-10sept2010.pdf Consulté le 25 février 2016.
126. Jensen ME, Faller RV. An update on demineralization/reminéralisation [en ligne]. 2010. Disponible sur <http://www.dentalcare.com/media/en-US/education/ce73/ce73.pdf> Consulté le 18 octobre 2015.
127. KaVo Dental. Mode d'emploi DiagnoDent Pen [en ligne]. Disponible sur <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwi m j P 6 w 6 7 v N A h X I E x o K H Z K d D A k Q F g g c M A A & u r l = h t t p % 3 A % 2 F % 2 F w w w . k a v o . c o m % 2 F f r % 2 F f i l e % 2 F 2 2 5 3 % 2 F d o w n l o a d % 3 F t o k e n % 3 D A b V S 6 w 2 z & u s g = A F Q j C N H C A L - J 3 e S z u e 8 D 4 k f V K d 3 I y l r B B Q & s i g 2 = t f h J l 8 4 h 3 E 3 9 A x i 9 p P t E Y Q> Consulté le 16 novembre 2016.
128. Komet. Micro préparation. Kit 4337. [en ligne] Disponible sur https://www.kometdental.de/~media/KometDental/Product%20Info/SyncFolder/410525_.pdf.pdf?077309b3-51a7-4d76-a6a8-91c573c20fb9 Consulté le 03 mars 2016.
129. Robert JC. Cours de bactériologie [en ligne]. Université de Rennes. 2012.
130. Tassery H. Soprolife®. Livret clinique [en ligne]. 2009. Disponible sur <http://www.soprolife.fr/telechargements/livret-clinique-fr.pdf> Consulté le 21 novembre 2015.
131. Tolila Y. Le laser dentaire : déjà demain ! comment et pourquoi faire entrer le laser dans nos cabinets. Considérations économiques et pratiques. 2008.[en ligne] Disponible sur <http://www.dentalespace.com/praticien/formationcontinue/laser-dentaire-deja-demain-comment-pourquoi-faire-entrer-laser-dans-nos-cabinets-considerations-economiques-pratiques/> Consulté le 16 décembre 2016.
132. UFSBD. Nouvelles recommandations. L'UFSBD réactualise ses stratégies de prévention. 2013. [en ligne]. Disponible sur <http://www.ufsbd.fr/wp-content/uploads/2013/11/Recos-espace-PRO.pdf> Consulté le 13 mars 2016.

Table des matières

INTRODUCTION	21
1RAPPELS	22
1.1 Structure dentaire	22
1.1.1 L'émail	22
1.1.2 La dentine.....	25
1.1.3 La pulpe.....	28
1.2 La carie.....	30
1.2.1 Définition et épidémiologie.....	30
1.2.2 Etiologies.....	30
1.2.3 Processus carieux	36
1.2.4 Diagnostic carieux.....	39
1.2.5 Classifications	40
2TECHNIQUES DE DIAGNOSTIC RÉCENTES.....	44
2.1 La radiographie numérique	45
2.2 Techniques de transillumination.....	47
2.2.1 Transillumination par fibre optique (FOTI).....	47
2.2.2 Transillumination par fibre optique avec image numérique (DIFOTI).....	49
2.3 Techniques de fluorescence	50
2.3.1 Fluorescence induite par la lumière visible.....	50
2.3.2 Fluorescence induite par les lasers	64
3TECHNIQUES OPERATOIRES	72
3.1 Prévention	72
3.1.1 Enseignement à l'hygiène buccale et au contrôle de plaque	72

3.1.2	Conseils nutritionnels	73
3.1.3	Scellement prophylactique des puits et fissures	74
3.2	Techniques opératoires sans préparation cavitaire	74
3.2.1	Ozonothérapie	74
3.2.2	Reminéralisation.....	79
3.2.3	Scellement et infiltration des lésions non-cavitaires	80
3.2.4	Lasers	89
3.3	Techniques opératoires avec préparation cavitaire	97
3.3.1	Éviction carieuse manuelle.....	97
3.3.2	Les systèmes mécaniques rotatifs	98
3.3.3	Les systèmes chimio-mécaniques	104
3.3.4	Les systèmes enzymatiques.....	108
3.3.5	Les techniques d'éviction sonore et ultrasonique.....	112
3.3.6	Aéro-abrasion	120
3.3.7	Lasers	123
	CONCLUSION	128
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130

SHKARPETINA Anna – La dentisterie micro-invasive : techniques et intérêts
Nancy 2016. 144 p. tab 34. fig 92.

Th : Chir.-Dent. : Nancy 2016

Mots clés :

- Dentisterie *a minima*
- Diagnostic carieux
- Éviction carieuse
- Préparation cavitaire
- Préparation non cavitaire

SHKARPETINA Anna – La dentisterie micro-invasive : techniques et intérêts

Th : Chir.-Dent. : Nancy 2016

RÉSUMÉ :

La dentisterie micro-invasive regroupe un ensemble de techniques opératoires ayant comme dénominateur commun l'économie tissulaire. C'est pourquoi le diagnostic de la lésion carieuse doit idéalement se faire au stade le plus précoce. Les techniques de diagnostic basées sur l'observation (sondage, radiographie) ont une sensibilité, une spécificité et une reproductibilité limitées. Notre travail décrit les nouveaux outils d'aide au diagnostic et à la prise de décision thérapeutique. Les techniques opératoires sans préparation cavitaire (reminéralisation, ozonothérapie, infiltration, etc.) ainsi que les techniques opératoires avec préparation cavitaire (éviction sonore et ultrasonique, aéro-abrasion et lasers, etc.) permettant une éviction carieuse sélective de la dentine infectée et la réalisation de micro-cavités sont également étudiées dans notre travail.

Jury :

Pr J.M. MARTRETTE

Dr É. MORTIER

Dr R. BALTHAZARD

Dr M. VINCENT

Professeur des Universités

Maître de Conférences

Maître de Conférences

Assistant Hospitalo-Universitaire

Président

Directeur

Codirecteur

Juge

Adresse de l'auteur :
Anna SHKARPETINA
50, rue de l'Agriculture
42600 MONTBRISON

Jury : Président : J.M. MARTRETTE – Professeur des Universités
 Juges : E. MORTIER – Maître de Conférence des Universités
 R. BALTHAZARD – Maître de Conférence des Universités
 M. VINCENT – Assistant Hospitalier Universitaire

Thèse pour obtenir le diplôme D'Etat de Docteur en Chirurgie Dentaire

Présentée par: Mademoiselle SHKARPETINA Anna

né(e) à: OUST-KAMENOGORSK (Kazakhstan) le 7 mai 1988

et ayant pour titre : « Les techniques en dentisterie micro-invasive ».

Le Président du jury



J.M. MARTRETTE

Le Doyen
de la Faculté d'Odontologie



J.M. MARTRETTE

Autorise à soutenir et imprimer la thèse 9128

NANCY, le - 2 JUIN 2016

Le Président de l'Université de Lorraine



P. MUTZENHARDT