



**HAL**  
open science

# Apport des instruments ultrasonores en odontologie conservatrice : guide clinique

Vincent Granelli

► **To cite this version:**

Vincent Granelli. Apport des instruments ultrasonores en odontologie conservatrice : guide clinique. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-03264865

**HAL Id: dumas-03264865**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03264865>**

Submitted on 18 Jun 2021

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

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



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

**UNIVERSITE PARIS DIDEROT - PARIS 7**

**FACULTE DE CHIRURGIE DENTAIRE**

5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2018

Thèse N°:

N° attribué par la bibliothèque :

**THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR**

**en CHIRURGIE DENTAIRE**

présentée et soutenue publiquement le

par **GRANELLI Vincent**

**APPORT DES INSTRUMENTS ULTRASONORES EN ODONTOLOGIE  
CONSERVATRICE : GUIDE CLINIQUE**

Directeur de thèse : madame la Docteure Julia Bosco

**JURY**

M. le Professeur Pierre COLON	Président
Mme la Docteure Aline HARTMANN	Assesseur
Mme la Docteure Nelly PRADELLE	Assesseur
M. le Docteur Khaled SALHI	Assesseur
M. le Docteur Jean-Emmanuel SOFFER	Assesseur
Mme la Docteure Solène VO QUANG	Assesseur
Mme la Docteure Marjorie ZANINI	Assesseur
Mme la Docteure Julia BOSCO	Membre invité

# UNIVERSITE PARIS DIDEROT-PARIS 7

Présidente de l'Université :	Mme la Professeure Christine CLERICI
Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie :	Mme la Professeure Ariane BERDAL
Directrice Générale des Services :	Madame Pascale SAINT-CYR

---

## JURY

M. le Professeur Pierre COLON	Président
Mme la Docteure Aline HARTMANN	Assesseur
Mme la Docteure Nelly PRADELLE	Assesseur
M. le Docteur Khaled SALHI	Assesseur
M. le Docteur Jean-Emmanuel SOFFER	Assesseur
Mme la Docteure Solène VO QUANG	Assesseur
Mme la Docteure Marjorie ZANINI	Assesseur
Mme la Docteure Julia BOSCO	Membre invité

**M. le Professeur Pierre COLON**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Professeur des Universités - Praticien  
Hospitalier

*Vous m'avez fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse. Je vous exprime ma reconnaissance pour votre expérience, votre approche humaine ainsi que votre pédagogie. Veuillez trouver ici l'expression de mon profond respect.*

**Mme la Docteure Aline HARTMANN**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités -  
Praticien Hospitalier

*Je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail ainsi que de votre disponibilité, vos conseils et votre pédagogie durant l'encadrement de nos vacances. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma reconnaissance et de ma profonde considération.*

**Mme la Docteure Nelly PRADELLE**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités -  
Praticien Hospitalier

*Vous avez consenti en toute cordialité à faire partie de ce jury de thèse et à juger ce travail, je vous remercie de cet honneur. Vous avez toujours communiqué aux étudiants votre passion pour l'odontologie conservatrice et je tenais à vous faire part de ma profonde considération pour cela.*

**M. le Docteur Khaled SALHI**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistant Associé

*Je vous remercie pour votre présence au sein de ce jury ainsi que pour votre aide et votre dynamisme lors de mes vacances effectuées dans le service de pédodontie à l'hôpital Rothschild. Je vous fait part de ma profonde gratitude et de mon respect.*

**M. le Docteur Jean-Emmanuel  
SOFFER**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférences des Universités -  
Praticien Hospitalier

*Vous avez consenti en toute cordialité à faire partie de ce jury de thèse et à juger ce travail. Je vous remercie de cet honneur, veuillez trouver ici le témoignage de mon respect et de ma profonde estime à votre égard.*

**Mme la Docteure Solène VO QUANG**      Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistant Hospitalo-Universitaire

*Vous avez consenti en toute cordialité à faire partie de ce jury de thèse et à juger ce travail. Je vous remercie de cet honneur, veuillez trouver ici le témoignage de mon respect et de ma profonde estime à votre égard.*

**Mme la Docteure Marjorie ZANINI**      Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférences des Universités -  
Praticien Hospitalier

*Je vous remercie pour votre présence au sein de ce jury, de même que pour votre investissement et votre pédagogie au sein du service odontologie de la Pitié-Salpêtrière, dont j'ai pu bénéficier.*

**Mme la Docteure Julia BOSCO**      Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités -  
Praticien Hospitalier

*Vous m'avez fait l'honneur de diriger cette thèse. Merci pour votre aide précieuse tout au long de ce travail et pour le temps que vous y avez consacré. Veuillez recevoir ici l'assurance de ma sincère reconnaissance pour votre disponibilité, pour votre écoute et vos conseils. Soyez assurée de ma sincère considération et de mon profond respect.*

## Table des matières

1	Introduction.....	3
2	La maladie carieuse : méthodes de détection et de curetage.....	4
2.1	Connaissances actuelles de la maladie carieuse .....	4
2.1.1	La carie et sa formation.....	4
2.1.2	Epidémiologie de la carie .....	7
2.1.3	Les nouvelles connaissances en cariologie .....	9
2.2	Outils de détection de la lésion carieuse.....	12
2.2.1	Les outils diagnostics conventionnels .....	12
2.2.2	Les outils diagnostics récents.....	13
2.3	Outils de curetage de la lésion carieuse.....	20
2.3.1	Les instruments d'éviction carieuse conventionnels .....	20
2.3.2	Les instruments d'éviction carieuse récents.....	21
3	Les ultrasons.....	30
3.1	Le phénomène ultrasonique.....	30
3.1.1	Généralités .....	30
3.1.2	Son histoire en dentisterie .....	31
3.1.3	Les effets des ultrasons .....	32
3.2	Son utilisation en dentisterie opératoire .....	34
3.2.1	Phénomènes physiques sur la dent .....	34
3.2.2	Les instruments soniques.....	35
3.2.3	Les ultrasons dans le cadre d'une dentisterie à minima.....	36
3.2.4	Les ultrasons : une utilisation pluridisciplinaire.....	37
3.2.5	Précautions d'emploi .....	38
3.2.6	Les avantages de l'ultrasono-abrasion.....	38
3.3	Quid de la surface d'adhésion ? .....	40
3.3.1	Le phénomène de cavitation et l'état de surface .....	40
3.3.2	Comparatifs avec d'autres systèmes d'éviction carieuse .....	42
4	Fiche clinique et cas clinique.....	45
4.1	Guide clinique .....	45
4.1.1	Contexte .....	45
4.1.2	Présentation du guide clinique .....	45

4.2	Cas clinique .....	48
5	Conclusion .....	53
	Bibliographie .....	55

# 1 Introduction

Depuis le début du 20ème siècle et la classification de Black des lésions carieuses, nos connaissances, les matériaux, l'instrumentation ainsi que la manière d'appréhender la maladie carieuse n'ont cessé d'évoluer.

En effet, à l'époque, nous avions une approche interventionniste avec un schéma « carie = cavité /obturation » tandis que nous sommes aujourd'hui dans une logique bien plus réfléchie et conservatrice; on parle alors de dentisterie à minima ou « minimally intervention dentistry » en anglais (Tassery et al. 2008).

Ainsi, il existe actuellement une multitude de solutions de traitement des lésions carieuses en parallèle de la traditionnelle turbine, ce qui permet au praticien d'être le moins invasif possible.

Parmi ces dernières, les instruments ultrasonores, dont l'utilisation principale aujourd'hui est parodontale, sont apparus dans les années 50 à l'origine pour traiter les lésions carieuses. Ils étaient alors associés à une pâte abrasive mais, n'étant pas suffisamment performants, ils ont rapidement été abandonnés au profit des instruments rotatifs. Cependant, depuis une quinzaine d'années, l'ultrasono-abrasion est de nouveau utilisée en Odontologie conservatrice grâce aux nouvelles connaissances qui lui ont été apportées (système par dépôt de vapeur chimique notamment) et permet une éviction carieuse à minima que l'on ne peut obtenir par d'autres techniques dans certaines situations (Decup et Lasfargues 2012).

Ainsi, les objectifs de ce travail sont de présenter et mettre en évidence l'intérêt de l'ultrasono-abrasion en odontologie conservatrice, en s'appuyant sur les données actuelles de la science. Après un rappel des connaissances sur la maladie carieuse, nous décrirons les moyens diagnostics et de traitements récents puis, par la suite, nous nous attacherons de présenter l'ultrasono-abrasion en particulier. Ainsi, nous montrerons en quoi cet instrument peut être une alternative de choix dans certaines situations cliniques, avec une éviction carieuse à minima.

Un cas clinique sera présenté afin d'illustrer nos propos, ainsi qu'un protocole d'utilisation par l'intermédiaire d'une fiche technique, dont l'intérêt sera de permettre aux étudiants de la Pitié-Salpêtrière de se familiariser avec les instruments d'ultrasono-abrasion récemment introduits dans le service, connaître leurs indications ainsi que la manière de les utiliser.

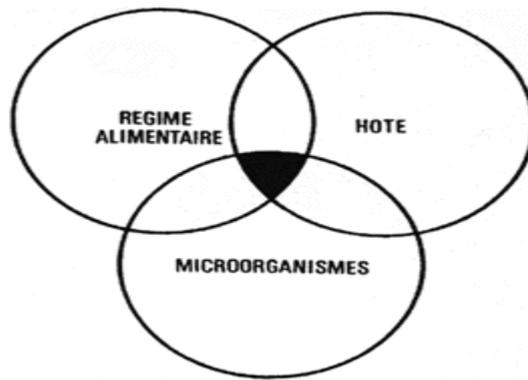
## 2 La maladie carieuse : méthodes de détection et de curetage

### 2.1 Connaissances actuelles de la maladie carieuse

#### 2.1.1 La carie et sa formation

L'Organisation Mondiale de la Santé définit la carie comme étant : « un processus pathologique localisé, d'origine externe, apparaissant après l'éruption, qui s'accompagne d'un ramollissement des tissus durs et évoluant vers la formation d'une cavité » (Organisation Mondiale de la Santé 1972).

L'ensemble des auteurs s'accordent sur le fait que l'on doit parler de maladie carieuse, phénomène infectieux chronique d'origine complexe, qui se caractérise par une destruction des tissus dentaires : la lésion carieuse n'est donc que la résultante physique de la maladie. Cette destruction va se faire de manière progressive au cours du temps, de façon symptomatique ou non et, au niveau microscopique, par des successions de phases de déminéralisation/reminéralisation au profit de la déminéralisation (Séguier et Le may 2017). Nous savons aujourd'hui que la formation d'une lésion carieuse est un phénomène complexe où beaucoup de facteurs rentrent en jeu et interagissent entre eux, comme le montrait déjà à l'époque le diagramme de Keyes.



*Figure 1 : diagramme de Keyes (1962)*

*Ce diagramme montre de manière très claire les interactions qui s'opèrent lors de la formation carieuse mais néanmoins, il apparaît bien trop simpliste de nos jours avec les avancées de nos connaissances sur le sujet.*

En effet, déjà l'hôte est un facteur prépondérant, car chaque individu est unique de par ses gènes, son débit et ses facteurs salivaires, son hygiène bucco-dentaire, son état de santé général ou encore la qualité de son émail : MIH par exemple (Badet 2011).

Ensuite, le régime alimentaire est particulièrement important car ce sont les sucres contenus dans l'alimentation, notamment le saccharose, qui sont métabolisés en acides organiques par les bactéries du biofilm qui prolifèrent dans le même temps. Ce sont ces attaques acides qui initient les lésions carieuses avec majoritairement *Streptococcus mutans* qui est retrouvé ainsi que les genres bactériens *Lactobacillus* et *Actinomyces* (Takahashi et Nyvad 2016). Il est important de noter que c'est avant tout la redondance des prises alimentaires qui engendre un risque carieux, car le pH buccal restera acide tout au long de la journée. En effet, comme le montre la courbe de Stephan, les sucres fermentescibles contenus dans les aliments engendrent après leur ingestion une baisse de pH temporaire.

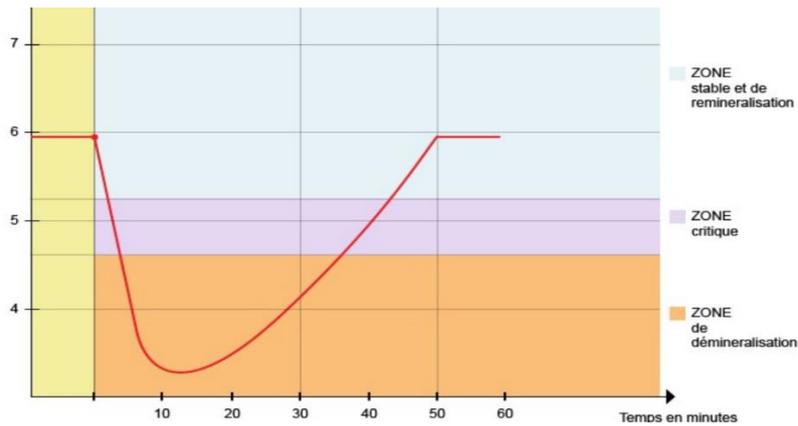


Figure 2 : Graphique représentant la variation du pH en fonction du temps après une prise alimentaire (Mouton et Robert s.d.)

De même, un aliment est potentiellement cariogène de par sa consistance ou sa nature physique, car si ce dernier tend à adhérer particulièrement aux surfaces dentaires, il va engendrer une acidité du milieu plus étendue dans le temps (Bradshaw et Lynch 2013). Le type de sucres contenus dans les aliments ont également une importance notable car ils font varier le pH de manière très différente.

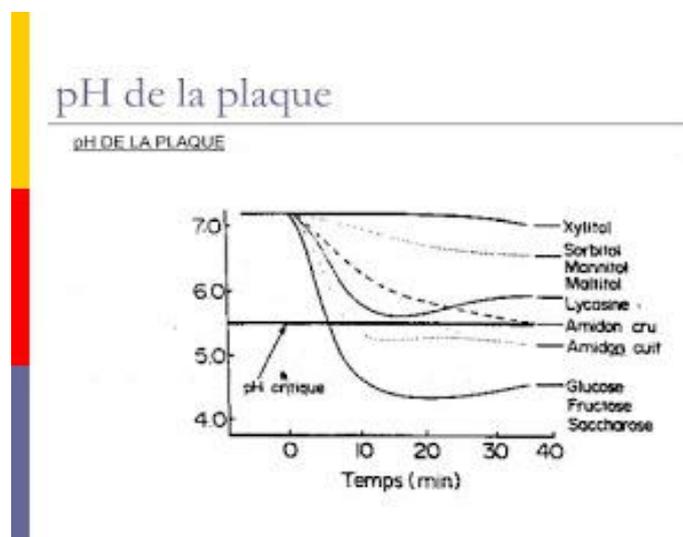
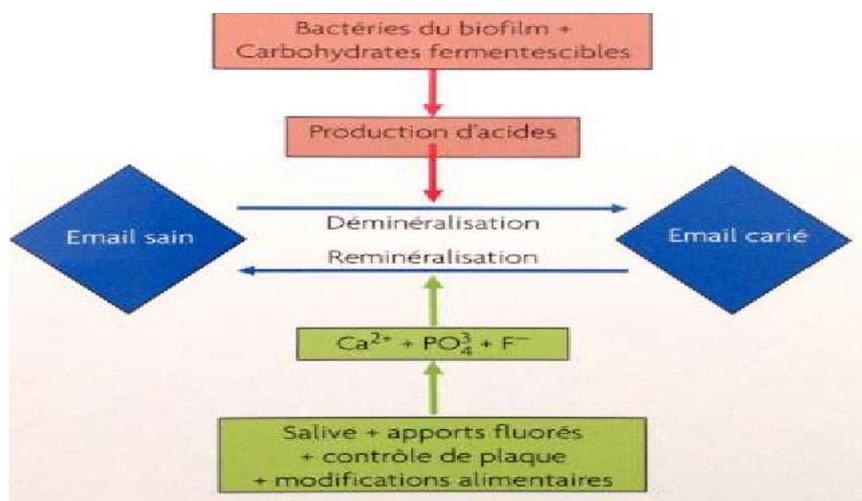


Figure 3 : Graphique représentant la variation du pH en fonction du type de sucres (Capelle 2015)

Enfin, les micro-organismes bactériens participent au développement de la maladie carieuse par des bactéries spécifiques de la sphère orale, adhérentes aux surfaces dentaires. Les deux

principales bactéries cariogènes sont *Streptococcus mutans* et *Lactobacillus*. Comme nous l'avons vu précédemment, ces bactéries relarguent des substances acides (l'acide lactique notamment) en métabolisant les hydrates de carbone, provoquant ainsi une déminéralisation locale de la surface de l'émail (Bowen et Koo 2011). Ce processus pathologique est progressif, d'agressivité variable, mais peut être arrêté à n'importe quel moment si l'homéostasie microbienne se remet en place. Cependant, sans traitement ou modification des facteurs responsables, la carie aboutit systématiquement à la destruction totale de la dent.



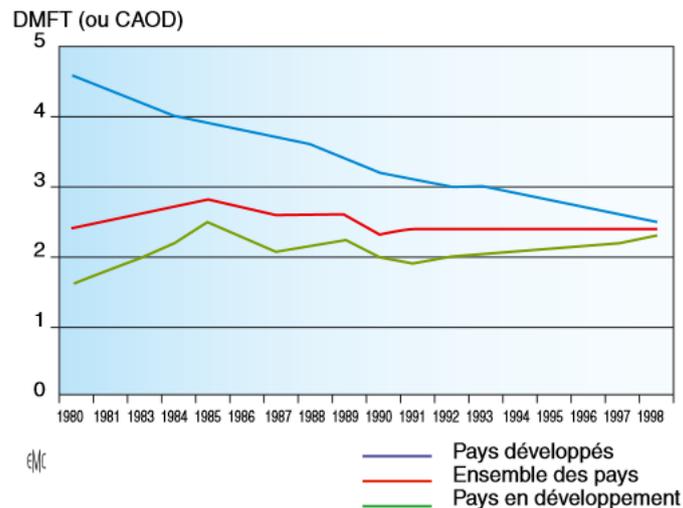
*Figure 4 : Schéma représentant les mécanismes initiant la lésion carieuse (Shkarpetina 2016)*

### 2.1.2 Epidémiologie de la carie

D'un point de vue épidémiologique, la carie dentaire représente la maladie la plus répandue dans le Monde, avec de grandes disparités notamment socio-économiques (Schwendicke et al. 2015). Néanmoins, cette dernière est en diminution dans les pays industrialisés comme le nôtre, bien qu'elle reste un enjeu majeur de santé publique. En effet, il existe en France de nombreuses inégalités de répartition, notamment géographique et socio-économique, qui tendent à s'intensifier avec 72 % des caries retrouvées sur seulement 20 % de la population (Bourgeois et al. 2004).

De plus, dans les pays en voie de développement où nous retrouvons peu de caries il y a quelques dizaines d'années, nous avons désormais une augmentation importante de sujets

atteints. Cette tendance peut s'expliquer par des changements au niveau de l'alimentation, du mode de vie de plus en plus sédentaire ainsi que par une inaccessibilité aux soins ; dans certaines régions du globe, 90 % des caries ne sont pas traitées chez les enfants (Lupi-Pégurier et al. 2009).



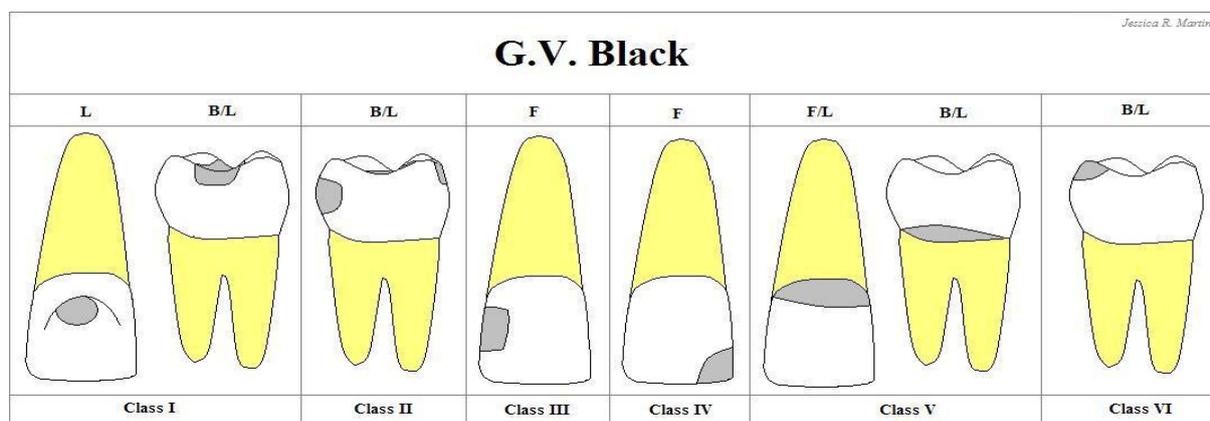
*Figure 5 : Graphique illustrant l'évolution de l'indice CAOD au cours du temps selon les pays (Lupi-Pégurier et al. 2009)*

Pour quantifier l'atteinte des populations par la maladie carieuse, l'indice communément utilisé est l'indice CAOD, qui va correspondre aux dents cariées, obturées ou extraites pour cause de caries. Ce dernier porte néanmoins à discussion car il prend en compte uniquement les caries cavitaires et minimise, de ce fait, l'étendue de la maladie carieuse.

L'OMS propose pour 2020 comme nouveaux objectifs d'accroître la proportion d'enfants de 6 ans indemnes de caries et de diminuer le CAOD à 12 ans, en axant les efforts sur les groupes à risque élevé, ainsi que de réduire le nombre de dents permanentes extraites pour raisons carieuses. Ceci nous montre la prise de conscience de l'enjeu majeur de santé publique que représente cette maladie, mais également la manière nouvelle d'appréhender ce phénomène en axant la prise en charge sur la prévention (Lupi-Pégurier et al. 2009).

### 2.1.3 Les nouvelles connaissances en cariologie

La lésion carieuse, décrite depuis l'antiquité avec Hippocrate qui l'attribuait déjà à la stagnation des débris alimentaires, a pendant des décennies été appréhendée par un schéma interventionniste. Ce dernier ne prenait pas en compte les facteurs de risques, les habitudes néfastes du patient, mais consistait à réaliser l'élimination de la lésion carieuse avec des cavités aux limites larges, pour y placer une restauration de type foulée comme nous le montre la classification de Black. Cette dernière reste encore une référence aujourd'hui malgré son obsolescence due à l'apparition de nouveaux matériaux comme les techniques adhésives, mais aussi par le fait que cette classification ne prend absolument pas en compte l'étendue de la lésion (Anceaux 2011).



*Figure 6 : Tableau présentant la classification de Black (Dentodontics 2015)*

Au début des années 90, notre attitude par rapport à la maladie carieuse a profondément été bouleversée grâce aux nouvelles connaissances acquises du phénomène, ainsi qu'avec le développement de nouveaux outils, nous permettant ainsi d'instaurer le concept de dentisterie à minima ou MID : Minimally Invasive Dentistry en anglais (Dawson et Makinson 1992). Ce concept consiste à préserver de manière maximale les tissus en mettant l'accent sur la prévention ; l'intervention n'est alors plus systématique (Doméjean et al. 2017).

Cette idée d'intervention minimale se développe progressivement avec le premier symposium en 1985 ciblé sur le concept ART (Atraumatic Restorative Treatment) (Rosing et Cury 2013). En effet, le concept ART est une branche de la dentisterie à minima consistant à cureter uniquement de façon manuelle la zone lésée, puis en restaurant la perte de substance

avec des ciments aux verres ionomères. Ce concept ne sera que peu repris dans notre pays, mais se développe notamment dans les pays en voie de développement où l'accès aux soins demeure délicat (Holmgren et al. 2011).

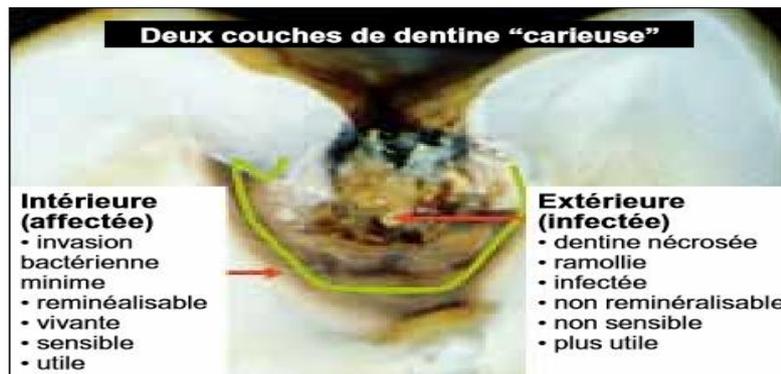
De manière générale, cette dentisterie d'un nouveau genre va mettre l'accent sur la prévention, en contrôlant les facteurs de risques et en déterminant le risque carieux de l'individu. Cela a pour but de mettre en place une thérapeutique adaptée et d'utiliser des systèmes non interventionniste pour les caries débutantes. C'est d'ailleurs dans cette optique que la classification Si/Sta a été proposée en 2000, où l'on retrouve les trois sites déjà proposés par Mount et Hume mais en ajoutant un stade 0, stade où la carie peut être prise en charge de manière non instrumentale car reminéralisable (Lasfargues et al. 2016).

SI/STA	0	1	2	3	4
1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4
2	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4
3	3.0	3.1	3.2	3.3	3.4

*Figure 7 : Tableau montrant la classification SI/STA (Lasfargues et al. 2016)*

La dentisterie restauratrice à minima se développe ainsi dans notre pratique quotidienne, notamment grâce aux avancées technologiques que nous détaillerons par la suite, permettant un diagnostic précoce, une intervention peu mutilante mais aussi par les connaissances du phénomène carieux (Tassery et al. 2008).

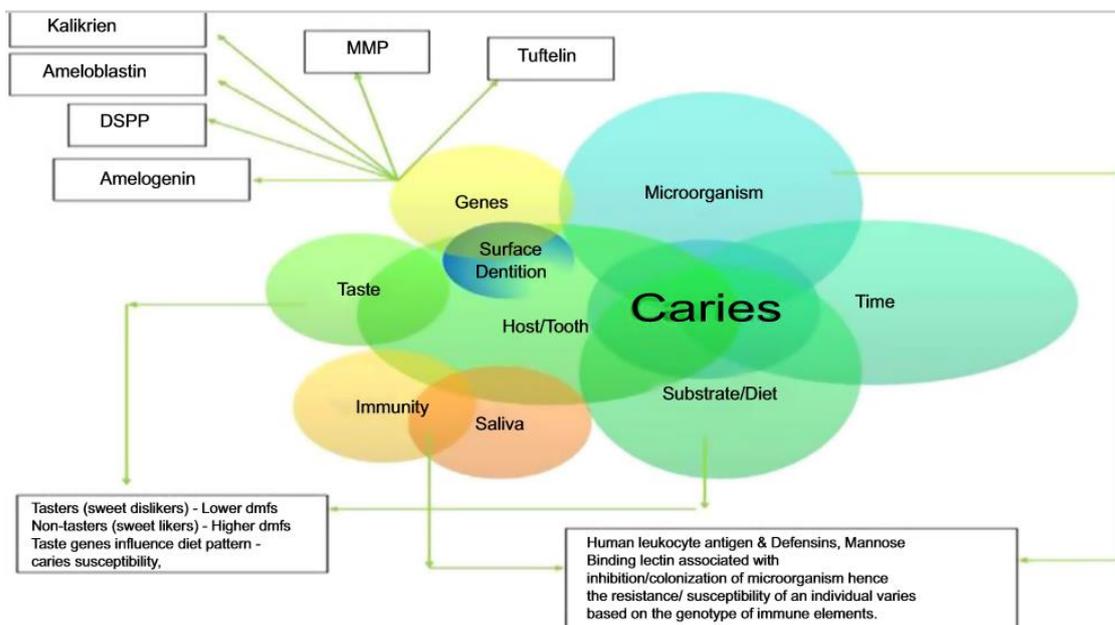
En effet, nous savons depuis de nombreuses années que la dentine atteinte par la carie peut présenter plusieurs zones ou couches. D'abord, nous avons la dentine infectée où les tissus ne sont pas conservables car décomposés et colonisés par les bactéries, puis avec la dentine affectée plus profondément située et partiellement déminéralisée. Ceci est particulièrement intéressant lorsque l'on se situe à proximité de la pulpe ; on peut alors réaliser ce que l'on appelle un curetage partiel, où l'on laisse volontairement de la dentine atteinte par les bactéries afin d'éviter l'exposition pulpaire, car ces dernières privées de substrat vont diminuer en nombre et le processus carieux sera ainsi stoppé (Villat et al. 2016) (Ricketts et al. 2006).



*Illustration 1 : les différentes couches de dentine carieuse (Holmgren et al. 2011)*

De même, de nombreuses études se sont intéressées aux polymorphismes de gènes pouvant influencer l'apparition ou non de la maladie carieuse, notamment chez les enfants, avec des gènes intervenant dans la formation de l'émail (tuftéline, kallikréine 4), dans celle des protéines matricielles (DEFB1) et salivaires (CA6) (Abbasoğlu et al. 2015).

D'après certaines études dont notamment celle de Vieira, un locus protecteur de la carie serait présent sur le chromosome X ce qui expliquerait en partie la raison pour laquelle les femmes présentent moins de caries que le genre masculin (Vieira et al. 2008).



*Figure 8 : Diagramme montrant l'ensemble des facteurs influençant le risque carieux*

Comme on peut le voir sur le diagramme ci-dessus, le risque carieux d'un individu va ainsi dépendre d'une multitude de facteurs qu'il faut bien évidemment prendre en compte lors de nos thérapeutiques dans le cadre d'une dentisterie à minima.

## 2.2 Outils de détection de la lésion carieuse

Les avancées technologiques de ces dernières années ont permis de développer différentes méthodes de détection des lésions carieuses, ce qui permet de prendre en charge de manière interventionniste ou non plus précocement ces dernières.

### 2.2.1 Les outils diagnostics conventionnels

#### - L'observation clinique

Elle se fait simplement à l'aide d'une sonde et d'un miroir et nécessite, de ce fait, peu de matériel, mais possède une efficacité limitée par le fait que les caries proximales, notamment débutantes, sont difficiles à diagnostiquer. De plus, il est impératif que les dents soient parfaitement sèches et propres au préalable. Il est important de savoir qu'il existe un risque de transport de bactéries cariogènes entre différents sites en utilisant la sonde, ainsi que de créer des lésions amélaire iatrogènes avec cette dernière si elle est utilisée de manière inappropriée (Lussi 1991).

Afin de nous aider dans cet examen clinique, des aides optiques telles que les loupes binoculaires peuvent être utilisées. Cependant, ces dernières peuvent créer des fatigues oculaires ainsi que des maux de tête importants si elles sont portées de manière fréquente et le risque de faux positifs peut être augmenté (Lasfargues et Colon 2010).

#### - Les examens radiologiques

Plus précisément de type rétro-coronaires, elles sont réalisés à l'aide d'un angulateur et permettent de visualiser environ deux fois plus les lésions carieuses proximales qu'un simple examen visuel. Cependant, les lésions carieuses de site 1 de stade 0 ou 1 ne sont pas aisément identifiables (Lasfargues et Colon 2010).

Pendant des décennies, ces deux outils ont été utilisés en association afin de détecter les lésions carieuses chez les patients mais, depuis quelques années, de nouveaux systèmes utilisant différentes technologies ont été développés afin d'affiner notre diagnostic.

## 2.2.2 Les outils diagnostics récents

### ➤ les systèmes à fluorescence

Ces systèmes reposent sur le phénomène d'auto-fluorescence des composants organiques des tissus dentaires qui, exposés à une lumière, produisent des photons qui seront captés à leur tour par un récepteur. En effet, les lésions dentaires créent des altérations de structure qui ont une répercussion au niveau physique, permettant d'effectuer des mesures (Diniz et al. 2012).

On note ainsi que la mesure de fluorescence d'une dent saine et d'une dent atteinte par une lésion carieuse sera différente du fait qu'il y aura plus d'eau dans cette dernière et, par conséquent, la longueur de trajectoire libre d'un photon lumineux sera plus courte et moins transparente. De même, plus la carie est importante, plus la lumière est diffusée et donc la fluorescence sera faible.



*Illustration 2 : l'Inspektor Pro® (Anceaux 2011)*

### - Le système QLF

Le système QLF (quantitative light fluorescence) utilise une lumière laser avec une longueur d'onde autour de 400nm pour déterminer la fluorescence de la dent. Il est notamment utilisé dans la détection des lésions carieuses précoces limitées à l'émail au niveau des surfaces lisses des dents. La lumière bleue émise par la fibre optique va exciter les fluorophores situés au niveau de la jonction amélo-dentinaire, puis la fluorescence de la dent va être captée par une caméra. Il en résulte alors une image en noir et blanc qui sera ensuite analysée par le logiciel.

L'inspektor pro ® est le premier instrument à avoir été commercialisé utilisant ce système en 2003. Il permet de suivre l'évolution d'une lésion carieuse dans le temps par exemple, mais présente des inconvénients importants comme le fait qu'il ne soit pas utilisable de manière fiable au niveau inter-proximal, ou encore qu'il ne permet pas de différencier une lésion carieuse de stade 1 ou 2. De plus, il représente un coût très important et se révèle particulièrement encombrant du fait de sa taille (Stookey 2004).

Le même principe régit le système DELF à la différence qu'il repose sur l'utilisation d'un marqueur de molécules fluorescentes exogènes afin de permettre la détection de la carie sans pour autant améliorer la quantification (Chala et al. 2004).



*Illustration 3 : le Diagnodent (Konate 2014)*

- Le Diagnodent®

La société Kavo a produit le système Diagnodent® selon la même logique, utilisant un laser possédant une longueur d'onde de 655nm, donc dans le domaine des lumières rouges, et permet à la fois de détecter et de quantifier la lésion carieuse éventuelle. Ce système a été mis au point au début des années 2000 après des recherches (Lussi et al. 2004) qui ont montré qu'une lumière rouge pouvait induire une fluorescence suffisante pour mettre en évidence une carie (Lasfargues et Colon 2010).

Il est constitué d'une fibre optique émettrice contenant le laser, elle-même entourée par 8 fibres réceptrices qui ont pour rôle de capter la fluorescence émise par la dent, dont les résultats se font avec une valeur numérique et non par image. Cette valeur est comprise entre 1 et 99, où l'augmentation du chiffre indique une augmentation de l'importance de l'atteinte. Deux types de Diagnodent® ont été mis au point par la société KaVo Dental Corporation : le Diagnodent® 2095 et le Diagnodent® pen 2190 plus ergonomique, selon les mêmes principes et donnant des résultats similaires.

Score de fluorescence	Interprétation clinique
0-9	Tissus sain ou carie débutante
10-17	Carie de l'émail
18-99	Carie de la dentine

*Figure 9 : Tableau représentant le score de fluorescence en fonction de l'état tissulaire (Bail 2012)*

Contrairement à la QLF, le DIAGNOdent® ne mesure pas les changements intrinsèques dans la structure de l'émail mais l'activité bactérienne et notamment la fluorescence issue du métabolisme des porphyrines ; ce que les auteurs appellent la Laser-Induced Fluorescence (LIF) (Pretty 2006).

- Les caméras LED intra orales à fluorescence



Illustration 4 : la Soprolife® d'Acteon (Konate 2014)

Basées sur le système QLF, cette méthode propose par un traitement de l'image une corrélation diagnostique : c'est le concept du Laser Induced Fluorescence Evaluation Diagnostic and Treatment ou Life DT (Gugnani et al. 2011). La caméra Vista Proof® de Dür Dental est une caméra intra-orale à fluorescence qui illumine les dents avec une lumière ultraviolette (405 Nm) et capte la lumière réfléchiée sous forme d'image numérique.

De la même façon, la caméra Sopro-life® de la firme Française Acteon, commercialisée depuis 2009, émet une lumière bleue de longueur d'onde  $\lambda = 450 \text{ nm}$  à partir d'une LED contenue dans la caméra. Le dispositif possède aussi un capteur CCD (Charged Coupled Device) captant la fluorescence émise par la dent ; les données sont alors transmises et analysées par le logiciel de traitement d'image. De manière logique, plus la lésion est profonde, plus le signal est absorbé. On observe ainsi des variations de fluorescence entre les zones saines apparaissant en vert et les zones cariées apparaissant en rouge (Panayotov et al. 2013).

Ces outils présentent un intérêt certain dans le contrôle des lésions lors de l'excavation mais manqueraient néanmoins encore de fiabilité diagnostique.



Illustration 5 : mise en évidence d'une lésion carieuse comparativement à une dent saine à l'aide du système Soprolife® (Konate 2014)

➤ Détection par luminescence et infrarouge (PTR-LUM) : Le Canary System®



*Illustration 6 : Le Canary System® (Quantum Dental Technologies 2018)*

La détection de caries par luminescence et infrarouge utilise les propriétés photo-thermiques et lumineuses de la structure dentaire. Cela se fait à l'aide d'un laser de faible puissance qui utilise une combinaison de chaleur et lumière : « Frequency Domain Photothermal Radiometry and Modulated Luminescence » (FD-PTR and LUM) afin d'examiner directement la structure cristalline des dents et cartographier la carie (Abogazalah et Ando 2017).

Le signal photo-thermique ainsi obtenu grâce au système de radiométrie photo-thermique (PTR) dépend des propriétés thermo-physiques du matériau analysé, ce qui permet alors de les caractériser. L'autre propriété exploitée par le PTR-LUM est la luminescence (LUM), propriété qu'ont certaines substances de restituer, sous forme de photons d'énergie  $q = h \cdot \nu$  d'origine non thermique, une partie de l'énergie absorbée au cours d'une excitation. Quand la lumière interagit avec la dent, une partie est réfléchi, dispersée ou transmise à travers le tissu dentaire et une partie de l'énergie peut être absorbée.

Le Canary System® est composé d'une pièce à main, permettant la prise des mesures et la transmission de l'impulsion laser, mais aussi de capter à l'aide de détecteurs la réponse tissulaire. Toutes les mesures sont par la suite transmises et analysées par l'ordinateur interne de l'appareil. L'ensemble des études, tant in vitro qu'in vivo, présentent la luminescence et la radiométrie photométrique comme l'avenir des outils de diagnostic de lésions carieuses notamment au niveau des zones proximales (Jan et al. 2016).

➤ Les systèmes par résistance électrique



*Illustration 7 : Le CarieScan (Anceaux 2011)*

La dent présente des propriétés conductrices car elle possède une teneur en fluides et en électrolytes (Huysmans et al. 1996). De ce fait, plusieurs systèmes utilisent ces propriétés dans le diagnostic des lésions carieuses, où l'on va appliquer sur l'émail une électrode reliée à un courant alternatif à fréquence fixe, afin de mesurer l'impédance de la dent.

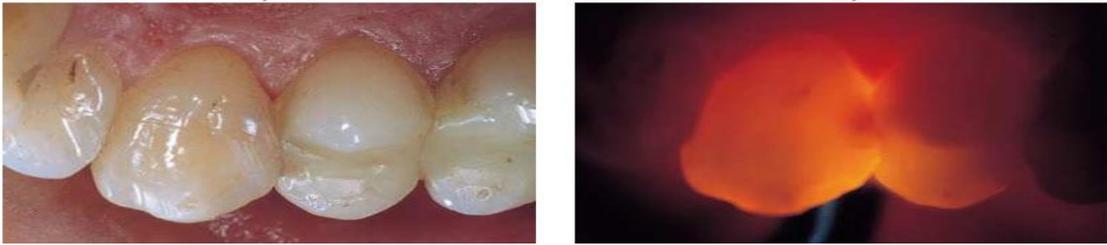
*Note : l'impédance est simplement la capacité à retenir le courant.*

Les tissus durs dentaires présentent une résistance électrique importante (ou impédance électrique) ; ainsi plus le tissu est déminéralisé, plus la résistance sera faible et donc la conductance augmente. La porosité associée à l'importante charge ionique va conduire à une augmentation de la conductivité électrique et, de ce fait, va diminuer la résistance électrique ; l'impédance se voit par conséquent modifiée (Longbottom et Huysmans 2004). Ainsi, le principe de cette technique serait basé sur la détection de l'augmentation de la conductivité électrique qui accompagne la réduction du contenu minéral des lésions carieuses. Cette dernière est due à la présence de microcavités de déminéralisation obturées par la salive jouant le rôle d'électrolyte et permettant la transmission du courant électrique.

L'Electronic caries Monitor® (ECM) et le CarieScan® sont deux systèmes respectivement basés sur la conductivité électrique des tissus et sur l'impédance électrique. L'ECM® s'est révélé plus performant que le sondage pour distinguer la dentine saine de la dentine cariée au niveau des caries radiculaires, ainsi que pour mesurer le degré de reminéralisation avant et après traitement topique par fluoruration. Pour le Cariescan®, des études ont été réalisées in vitro et in vivo, montrant une sensibilité et spécificité modérées (Tassery et al. 2014).

De manière générale, à l'heure actuelle ces systèmes ne sont pas envisageables dans le cadre d'une pratique libérale du fait du temps que nécessite les mesures, des variations de pH ou de la composition salivaire qui affectent l'impédance.

➤ Les systèmes par transillumination



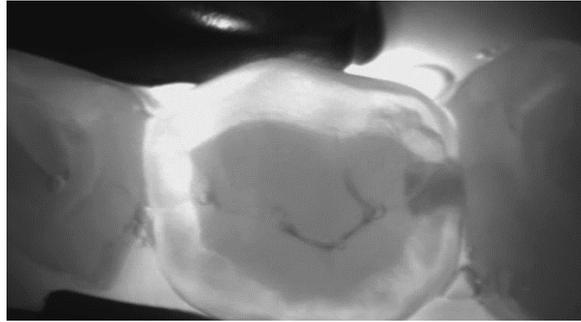
*Illustration 8 : Mise en évidence d'une lésion carieuse par transillumination (FOTI) (Anceaux 2011)*

L'inspection visuelle des caries est basée sur le phénomène de diffusion de la lumière dans la dent. La transillumination par fibre optique (« Fiber Optic Transillumination » ou FOTI) va utiliser cette propriété et l'amplifier par l'intermédiaire d'une lumière blanche de haute intensité (Pretty 2006). La lumière est alors transmise dans la dent et, lorsqu'un changement de structure intervient sur le chemin lumineux (comme dans le cas d'une carie), cela provoque une diffraction de la lumière qui apparaît comme une ombre dans l'émail ou la dentine.

Ce système a l'avantage de pouvoir être utilisé sur toutes les surfaces de la dent et notamment sur les surfaces proximales. Dans les années 60, la transillumination a connu un important essor avec l'apparition de la fibre optique, ce qui va permettre de réaliser des dispositifs plus compact et ainsi facile à utiliser (Vaarkamp et al. 1995). La FOTI se révèle particulièrement efficace pour détecter les lésions dentinaires mais reste néanmoins peu fiable pour les caries amélares.

Ces systèmes FOTI évoluent vers des systèmes DIFOTI « Digital Imaging Fiber Optic Transillumination » qui couplent la transillumination et la transcription de l'image numérique vers un ordinateur, permettant ainsi un archivage des données et un suivi dans le temps. Ainsi les images peuvent être stockées et réexaminées plus tard comme avec le DIAGNOcam® , un système développé par Kavo Dental, également basé sur le niveau élevé de transillumination et une longueur d'onde proche de l'infrarouge (Amaechi 2009).

Néanmoins, il n'existe pas encore pour le moment suffisamment d'études à ce sujet et ce système semble trop subjectif car il est basé sur l'aspect de la diffusion de l'image ; aucune tentative n'est entreprise à l'heure actuelle parmi les logiciels, d'exploiter les images quantitativement ou qualitativement (Schneiderman et al. 1997) (Söchtig et al. 2014).



*Illustration 9 : image obtenue par l'intermédiaire du système DiaqnoCam® (Tassery et al. 2013)*

➤ Les systèmes ultrasoniques



*Illustration 10 : Ultrasound Caries Detector® (Morozova s.d.)*

Les ultrasons ont été utilisés pour déceler les déminéralisations pour la première fois dans les années 1970. En effet, on a montré la capacité des ultrasons à détecter les éventuelles modifications de surface d'une dent exposée à un processus de déminéralisation (Lees et al. 1970).

La détection des caries par les ultrasons est une technique qui va utiliser l'élasticité du tissu dentaire, car tout tissu va posséder une impédance acoustique propre qui caractérise son modèle sonore interne. Ainsi, tout changement de ce modèle sonore peut être corrélé à un changement pathologique de ce tissu (Chala et al. 2004).

Bien que de nombreuses publications présentent les dispositifs à ultrasons comme des technologies d'avenir dans le diagnostic des caries proximales, aucun dispositif n'est actuellement disponible au cabinet dentaire. Le dispositif Ultrasound Caries Detector®, créé par la société Novadent Ltd, est le dispositif le plus utilisé dans les études comparatives décrites précédemment mais n'est resté qu'à l'état de prototype. Actuellement, des systèmes similaires sont à l'étude (Rochlen et Wolff 2011).

➤ Les systèmes tomographiques par cohérence optique

La tomographie par cohérence optique (OCT, système d'imagerie dentaire) est un système d'imagerie non ionisante, qui a la possibilité de produire des images en coupe des tissus biologiques. Tout cela est réalisé en utilisant une lumière infrarouge à 1310 Nm et l'on retrouve son emploi dans de nombreux domaines médicaux notamment l'ophtalmologie (Dure-Molla et al. 2016).

Pour le moment, seules les études in vitro sont disponibles et souvent limitées à la profondeur de l'émail. L'OCT polarisée (PS-OCT) de dernière génération peut être corrélée avec le degré de déminéralisation et la gravité de la lésion ce qui représente une voie d'avenir prometteuse (Tassery et al. 2013).

## 2.3 Outils de curetage de la lésion carieuse

### 2.3.1 Les instruments d'éviction carieuse conventionnels

- Eviction manuelle



*Illustration 11 : excavateurs de différentes tailles (Naute 2014)*

L'éviction manuelle se fait classiquement à l'aide d'un excavateur qui permet d'aller éliminer la dentine ramollie par la lésion carieuse lorsque celle-ci est cavitaire. C'est d'ailleurs l'instrument utilisé dans le cadre de l'Atraumatic Restorative Treatment (ART) car aucun tissu sain n'est éliminé, mais cette méthode est particulièrement fastidieuse et chronophage (Tassery et al. 2008).

- Instrumentation rotative classique



*Illustration 12 : fraises boules en carbure de tungstène communément utilisées en dentisterie opératoire (Mazière 2016)*

Ce sont les fraises qui sont couramment utilisées dans les cabinets dentaires depuis près d'un siècle. Ces dernières sont généralement diamantées ou en carbure de tungstène et s'utilisent respectivement sur turbine ou contre-angle bague rouge et bleue.

En général, on retrouve 6 bords tranchants et un angle de coupe négatif sur les fraises en carbure de tungstène alors que l'on a, comme leur nom l'indique, des particules de diamants sur les fraises diamantées qui peuvent avoir une granulométrie variable (pour l'excavation carieuse = 100  $\mu\text{m}$ ). Leur mode d'action est différent car les fraises en carbure de tungstène vont couper les tissus dentaires alors que les fraises diamantées vont plutôt avoir une action d'abrasion de la surface à leur contact.

### 2.3.2 Les instruments d'éviction carieuse récents

- Instrumentation rotative : les fraises céramiques et polymères



*Illustration 13 : le coffret Cerabur® (Komet 2014)*

Ces fraises sont pour la majorité composées de céramique zircone alliée à de l'oxyde d'alumine et présentées sous la forme de coffret comme le coffret Cerabur® de chez Komet par exemple.

Ces fraises présentent des avantages par rapport aux fraises classiques, mais elles ne peuvent en rien les substituer et seront donc utilisées en complément. En effet, ces dernières sont inefficaces sur l'émail mais vont permettre d'éliminer de manière sélective la dentine infectée par rapport à la dentine affectée. Ainsi, le praticien va avoir une finesse tactile accrue, lui permettant de différencier dentine conservable ou non, assurant la réalisation d'une éviction carieuse à minima. Ces fraises ont pour principal défaut d'avoir un coût relativement élevé, néanmoins, ces dernières auraient une longévité supérieure aux fraises conventionnelles (Estrade 2011).



*Illustration 14 : les fraises SmartBurs® II de SS White (Bramoullé 2014)*

Les fraises polymères, quant à elles, sont fabriquées à partir d'un polymère de polyamide/imide (PAI) et, contrairement aux fraises en carbure de tungstène, leurs arrêtes sont droites et non en spirale. De la même façon que pour les fraises céramiques, elles sont utilisées au niveau de la lésion carieuse uniquement et possèdent un long col afin d'offrir au praticien un confort de travail appréciable. Leur dureté Knoop est supérieure à la dentine infectée mais inférieure à la dentine affectée, qui peut être comme on le sait conservée, en s'émoissant à son contact. Ces fraises sont par conséquent à usage unique et sont particulièrement indiquées lorsque la lésion carieuse est juxta pulpaire afin d'éviter une effraction pulpaire (de Almeida Neves et al. 2011).

- Air-abrasion



*Illustration 15 : le Rondoflex® (Kavo Dental 2018)*

C'est une méthode d'éviction carieuse, introduite en dentisterie par Black dans les années 50 et rapidement abandonnée, qui consiste à projeter des particules abrasives à haute pression d'air sur les tissus afin de les éliminer. L'excavation est donc due à l'énergie cinétique des particules et non à de l'énergie mécanique, contrairement à l'excavation effectuée par des rotatifs, selon la célèbre formule :  $E = 1/2mv^2$  (Rainey 2002).

Ce système utilise plusieurs types de particules avec le plus fréquemment des particules d'oxyde d'alumine ou encore des particules de polycarboxylate. Selon la pression et le type de particules utilisées, les systèmes pourront avoir une action prophylactique d'aéro-polissage ou un réel rôle abrasif permettant l'éviction carieuse. En effet, le diamètre des particules varie

selon les modèles dont les plus répandus sont le Rondoflex® de chez KaVo et l'Aquacut® de Velopex.

Son utilité prédomine dans les caries Si/Sta 1.1, 1.2 ainsi que dans les caries débutantes de site 3. Il a été observé que l'emploi de plus petites particules permet d'améliorer le contrôle et la précision du jet mais également de diminuer la sensibilité du patient.

En effet, cet instrument est particulièrement apprécié par les patients car il est peu bruyant, provoque peu de vibrations ou de douleurs durant le geste par rapport aux instruments conventionnels.

En outre, il semble créer selon les études un état de surface idéal pour le collage, en formant des micros rugosités qui vont donc augmenter la surface d'adhésion (Oztas et al. 2003).

Néanmoins, l'utilisation de l'air abrasion reste encore limitée pour plusieurs raisons, et notamment son manque d'efficacité sur la dentine infectée du fait du freinage des particules lors du contact avec la carie.

De plus, son action « à minima » s'avère très opérateur dépendant, la littérature rapportant même des effets iatrogènes sur les dents adjacentes, l'oxyde d'alumine ayant un effet abrasif sur l'ensemble des surfaces ; l'usage de la digue est ainsi obligatoire. Ainsi, il demeure impératif de protéger les tissus sains et permettre une action ciblée des particules sur les tissus cariés.

De ce fait, des recherches ont été réalisées afin de développer des poudres de préparation sélective ; ce sont des poudres de verres bioactifs contenant de l'hydroxy-apatite pour remplacer l'oxyde d'alumine et ainsi d'éviter de léser les tissus sains (Banerjee et al. 2011).

Enfin, on peut noter que cette technique n'apporte aucune finesse tactile et que, du fait du nuage de particules, l'air abrasion ne permet pas de contrôler en temps réel l'excavation ce qui rend l'acte chronophage et difficile.

- Chimio-mecanique



*Illustration 16 : le Carisolv® de Mediteam (Kathuria 2013)*

Le premier procédé d'élimination de la dentine cariée par traitement chimique est apparu dans les années 80 avec le système Caridex® ou « Caries Removal System » qui n'aura pas le succès espéré. Ce n'est seulement qu'à la fin des années 90 que la société Mediteam commercialise le Carisolv®, qui propose de traiter les lésions carieuses par une action chémo-mécanique grâce notamment à l'hypochlorite de sodium qu'il contient (Ma 2017).

En effet, le Carisolv® se présente sous forme d'une seringue à double mélange contenant deux produits séparés : de l'hypochlorite de sodium (0,5 %) d'un côté, et de l'hydroxyde de sodium associé à un mélange d'acides aminés (acide glutamique, la leucine et la lysine) avec de l'eau de l'autre. L'interaction de l'ensemble de ces composants ramollit uniquement le collagène altéré du tissu carieux, après avoir interagit avec certaines protéines dénaturées, et ainsi l'éviction du tissu carieux est facilitée. Le Carisolv® agit donc de manière sélective sur la dentine infectée et respecte la couche de dentine affectée reminéralisable, mais il devra parfois être précédé de l'utilisation des rotatifs lorsque l'accès direct à celle-ci est impossible (Mentouri et al. 2016).



*Illustration 17 : application du Carisolv® au niveau de lésions carieuses (Kathuria 2013)*

L'action mécanique, après imbibition complète du tissu carieux, se fait à l'aide d'instruments associés qui vont permettre d'éliminer la partie ramollie par la solution jusqu'à ce que la surface dentaire soit dure au sondage et que la solution ne se trouble plus. Ces instruments possèdent une lame tranchante mais un angle de coupe émoussé, ce qui réduit le risque d'éviction de la dentine saine par rapport au curetage avec les excavateurs conventionnels (Hamama et al. 2014).

Malgré une efficacité prouvée, ce produit possède les mêmes inconvénients que le Caridex®, c'est-à-dire une durée de conservation courte, un coût élevé et un temps de traitement important (sa durée d'action étant de plusieurs minutes). Néanmoins, le système chimio-mécanique permet de réduire le recours à l'anesthésie et donc le temps total de l'intervention ne serait pas si nettement supérieur. De plus, les systèmes chémo-mécaniques sont très appréciés par les patients du fait qu'ils ne soient pas bruyants et qu'ils évitent bien souvent l'anesthésie tant redoutée.

Depuis le début des années 2000, des systèmes chémo-mécaniques reposant cette fois sur une activité enzymatique se sont développés. Ils reposent principalement sur la pepsine, avec le prototype SFC-VIII de chez 3M, et la papaine avec le Papacarie® en 2003 et le Carie-care®

en 2010, qui sont respectivement des enzymes protéolytiques situées dans l'estomac et le latex de la papaye (Bertassoni et Marshall 2009).



*Illustrations 18 et 19 : le Papacarie® et le Carie-Care® (Ma 2017)*

Ce sont des systèmes similaires au Carisolv d'un point de vue de l'utilisation car, de la même manière, on va agiter une solution au niveau de la lésion carieuse afin de la ramollir et permettre son excavation avec des instruments dédiés. En revanche, ceux-ci vont avoir une composition enzymatique et une absence d'hypochlorite de sodium.

Le SFC-VIII de chez 3M est un gel constitué de pepsine dans une solution d'acide phosphorique et de biphosphate de sodium, qui va attaquer uniquement le collagène dénaturé constituant la dentine infectée grâce à l'acide phosphorique. En effet, ce dernier va dissoudre le composant inorganique de la carie pour que la pepsine puisse de manière sélective éliminer le collagène dénaturé (Ahmed et al. 2008).

De la même façon, la papaïne, qui possède des propriétés anti-bactériennes et anti-inflammatoires, est supposée interagir uniquement avec les fibres de collagène déjà dégradées et présentes dans la dentine déminéralisée suite à l'action bactérienne. Nous supposons que la papaïne agit uniquement sur le tissu lésé et non le sain, car celui-ci contient l'alpha-1-anitrypsine plasmatique qui est inhibitrice de la papaïne (Anegundi et al. 2012).

Le Carie-care® produit récemment par UniBiotech lui a également associé de l'huile de clou de girofle pour ses propriétés analgésiantes.

Les avantages et les inconvénients de ces systèmes se révèlent identiques à ceux du Carisolv® : une éviction atraumatique, ultraconservatrice et antibactérienne, mais un temps de préparation élevé et un manque de recul sur les données scientifiques.

- Par ozonothérapie

L'ozone ou O<sub>3</sub> est un gaz naturel (comme la couche d'ozone) fréquemment utilisé par l'homme dans de nombreux domaines, notamment en médecine, depuis le 19<sup>ème</sup> siècle du fait de ses propriétés bactéricides et d'agent oxydant (Guéders et Geerts 2007).

En dentisterie, (Baysan et al. 2000) observent qu'une application d'ozone dix secondes sur la lésion carieuse permet d'éliminer 99 % de la charge bactérienne, ce qui favoriserait une reminéralisation de la structure dentaire. Ce procédé va donc en quelque sorte « stériliser » la surface sur environ 2mm, sans pour autant éliminer physiquement la lésion ; c'est d'ailleurs pour cela qu'il a été proposé essentiellement pour les lésions débutantes de site 1 et 3.

Certains auteurs proposent également d'utiliser l'ozone en association avec une instrumentation rotative et des obturations de type ciments aux verres ionomères pour les atteintes plus sévères, afin de minimiser les récives carieuses et de favoriser la reminéralisation.



*Illustration 20 : le Healozone® (Beunard 2005)*

Le Healozone®, proposé par la firme Kavo, a été commercialisé en utilisant ce principe et se constitue d'un générateur d'ozone relié à une pièce à main munie de cupules en silicone, que l'on place sur la dent traitée.

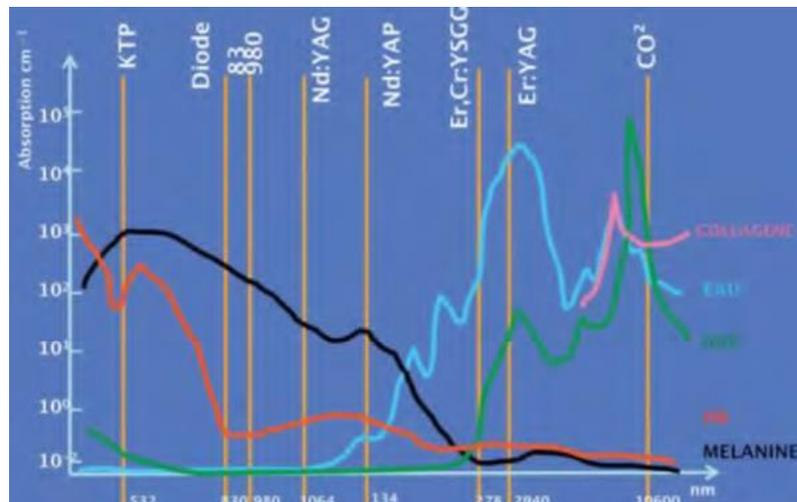
De nombreuses études montrent l'intérêt de l'ozone dans la prise en charge des lésions débutantes et l'alternative atraumatique qu'elle présente, mais (Rickard et al. 2004) montrent dans leur revue de littérature que l'ozonothérapie ne présente pas de résultats significatifs pour être employée comme solution de traitement fiable.

- Les lasers

Le mot laser est l'acronyme de l'anglais « light amplification by stimulated emission of radiation » qui peut se traduire en français par amplification cohérente de la lumière par émission stimulée. Nous avons vu précédemment que ces derniers pouvaient aider à détecter d'éventuelles lésions carieuses, avec notamment le Diagnodent®, mais ils peuvent également nous servir dans l'élimination des structures atteintes.

L'utilisation de ces derniers pour traiter les lésions carieuses a été proposé en 1989 avec l'Er-YAG, après des recherches approfondies pour définir la longueur d'onde adaptée (2940nm). En effet, la lumière laser est une onde électromagnétique monochromatique et sa longueur d'onde est caractéristique du laser qui la produit (Hibst et Keller 1989). Le phénomène

d'absorption a lieu lorsqu' il existe une concordance entre la longueur d'onde émise par le laser et le spectre d'absorption de la molécule du tissu cible. Par exemple, dans notre cas, l'Er : YAG a un bon taux d'absorption dans l'eau et, étant donnée la forte composition en eau des tissus carieux, il possède une longueur de choix pour traiter les lésions carieuses.



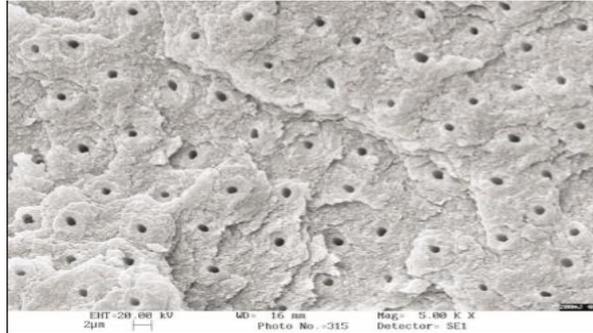
*Illustration 21 : les spectres d'absorption des différents lasers dans les tissus biologiques (Naute 2014)*

Le laser Er, Cr : YSGG introduit au début des années 2000, est caractérisé par une longueur d'onde voisine (2780 nm) ainsi que par des propriétés similaires, bien que selon les études, ce dernier soit davantage absorbé par l'hydroxyapatite que l'Er :YAG (Ana et al. 2006).

Après absorption de l'onde par l'eau et les tissus, l'énergie va se dissiper en créant des micro-explosions par surpression et élévation de la température, qui correspond au phénomène de cavitation, ce qui va entraîner une élimination de la matière. Il est intéressant de noter que l'utilisation de ces différents types de lasers engendre une élévation de température au niveau pulpaire supérieure aux outils classiques mais tout de même inférieur à 5,5°C qui est la valeur de référence (Kilinc et al. 2009).

Les lasers de type erbium possèdent également un effet bactéricide du fait de l'élévation de température observée durant leur utilisation (Berrocal et al. 2006).

L'ablation des tissus engendrée est décrite par de nombreux auteurs comme particulièrement intéressante, car elle ne produit ni débris ni de boue dentinaire et avec des tubulis ouverts, ce qui est particulièrement intéressant lorsqu'une restauration adhésive est envisagée (Carvalho et al. 2008).



*Illustration 22 : image obtenue par microscopie électronique à balayage de la surface après utilisation d'un laser de type erbium (Carvalho et al. 2008)*

De plus, ce système permet de réaliser dans la majeure partie du temps des soins ne nécessitant pas d'anesthésie, sans vibrations ou odeurs désagréables, ainsi qu'une excavation de précision sans altération des structures saines adjacentes. Cependant, les lasers nécessitent une utilisation rigoureuse en les paramétrant judicieusement selon la situation clinique, c'est pourquoi il est conseillé de suivre des formations spécifiques avant leur emploi.



*Illustration 23 : le LightWalker® (Fotona s.d.)*

Une nouvelle fois, le coût que représente ces systèmes est un des freins limitant leur utilisation en cabinet, bien que certains comme le modèle LightWalker® de chez Fotona commercialisé en 2011 permettent d'élargir les utilisations, du fait qu'ils possèdent deux longueurs d'onde complémentaires (ER :YAG et ND :YAG). En outre, les lasers présentent un temps de travail assez long mais ceci est discutable du fait qu'il n'est bien souvent pas nécessaire d'anesthésier. Enfin, leur utilisation au niveau de cavités difficiles d'accès peut se révéler impossible du fait que le laser irradie uniquement sur un axe principal.

Ce système représente donc une voie d'avenir à explorer avec des résultats prometteurs, mais il est nécessaire de réaliser davantage d'études à haut niveau de preuve afin de considérer ce système comme une solution fiable en odontologie conservatrice (Montedori et al. 2016).

- PDT ou PhotoDynamic Therapy

La thérapie photo-dynamique a pour principe de placer un liquide, le bleu de toluidine, dans la cavité atteinte par la carie et d'activer ce dernier à l'aide d'une lumière LED de longueur d'onde de 635 nm.

Ainsi, les bactéries présentes au sein de la lésion carieuse sont censées être détruites, comme le montrent certaines études (Pourhajibagher et al. 2018) mais, cependant, une revue systématique montre que les études fiables étudiant l'efficacité de ce système sont trop peu nombreuses pour que ce dernier soit utilisé en pratique pour le moment (Cieplik et al. 2017).

- Par érosion-infiltration



*Illustration 24 : l'Icon® de DMG (Leroy 2016)*

Dès le milieu des années 70, ce concept d'infiltration résineuse est proposé et sera finalement repris au début des années 2000 avec (Paris et al. 2010) pour aboutir à la commercialisation en 2009 par la société DMG de l'Icon®.

Il s'agit d'un procédé consistant en l'érosion superficielle d'une lésion déminéralisée permettant l'infiltration d'une résine fluide spécifique dans le corps de cette lésion. A l'origine, ce dernier était décrit pour traiter les atteintes carieuses se limitant à l'émail au niveau proximal et des surfaces lisses, mais (Tirlet et Attal 2011) proposent d'étendre l'indication de l'érosion-infiltration au traitement des hypo-minéralisations traumatiques ou dues à une fluorose légère par exemple. En effet, il avait été mis en évidence que la résine permettait, en plus de stabiliser la lésion carieuse, de retrouver une teinte plus harmonieuse sur les leucomes pré-carieux.



*Illustration 25 : clichés photographiques d'une dent présentant une atteinte amélaire avant et après traitement par Icon® (Leroy 2016)*

L'utilisation de l'Icon® se fait en trois grandes étapes, après nettoyage séchage et isolation de la dent à traiter, sous forme de trois produits fournis dans le kit. Le principe est de pénétrer l'émail par capillarité, dans le but de stopper l'évolution de la maladie carieuse en piégeant les bactéries au sein de la résine ; il faut donc un pouvoir infiltrant très important.

Il faut commencer par appliquer l'Icon etch composé d'acide chlorhydrique à 15 %, puis l'Icon dry (éthanol à 99%) est appliqué après rinçage et séchage, afin d'avoir une surface complètement déshydratée. Enfin, l'Icon infiltrant, une résine fluide de type TEGDMA donc particulièrement hydrophobe, est injectée dans la lésion et photopolymérisée. Celle-ci permet d'étanchéfier la lésion amélaire, limitant ainsi la pénétration chimique et bactérienne dans la lésion et ainsi, sa progression (Attal et al. 2014).

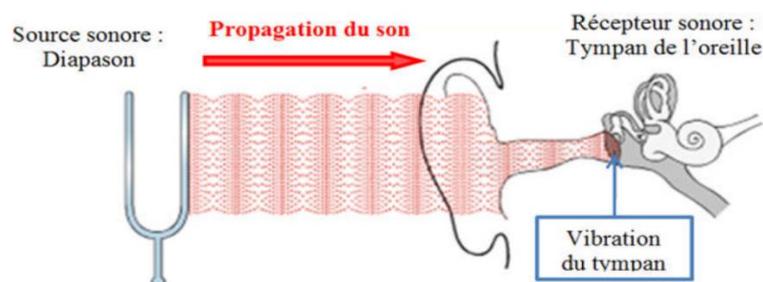
L'érosion-infiltration est une thérapeutique qui a montré d'excellents résultats, notamment dans les zones proximales, mais ce procédé nécessite une certaine rigueur ainsi que du temps. En effet, il faut impérativement respecter des temps d'application et il requiert plusieurs applications successives de résine pour obtenir un résultat acceptable.

### 3 Les ultrasons

#### 3.1 Le phénomène ultrasonique

##### 3.1.1 Généralités

Le son, d'une manière générale, est une sensation auditive provoquée par une vibration émise par une source, transmise par un milieu et captée par un récepteur ; en l'occurrence notre système auditif. L'ensemble du spectre des sons ne peut être perçu par l'Homme ; en effet, notre oreille n'est capable de percevoir que des sons allant de 20 à 18000 Hertz, contrairement à certains animaux comme les chiens ou les chauve-souris. Ces derniers sont ainsi capables d'entendre ce que l'on appelle des ultrasons, dont la vibration est comprise entre 16000 et 100 millions d'Hertz (Gagnot 2008).



*Illustration 26 : schéma représentant la diffusion du son (Chaumeton 2012)*

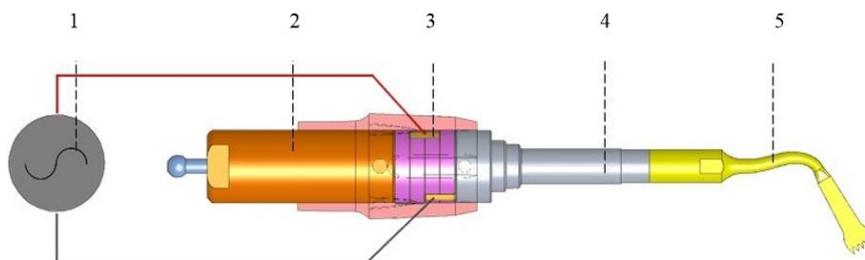
Ce phénomène d'ultrasons a été découvert en 1883 par le physiologiste anglais Francis Galton, à la suite des travaux de Pierre et Jacques Curie sur l'effet piézoélectrique (du grec « piezin » qui signifie pression) trois ans auparavant. En effet, à la fin du 19ème siècle, les frères Curie ont démontré sur un échantillon de quartz que celui-ci avait la capacité de se charger électriquement lorsqu'il était soumis à une contrainte mécanique. Inversement, ils ont montré qu'une déformation du cristal se produisait lorsque celui-ci était soumis à une tension électrique. Ces deux propriétés sont indissociables ; la première est appelée effet piézoélectrique direct et la seconde, effet piézoélectrique indirect.

Les ultrasons résultant de cette technique connaîtront par la suite de nombreux domaines d'application tels que la détection d'objets (sonar), en médecine, ainsi que dans l'industrie comme pour la stérilisation du lait par exemple (Zarembowitch 2003).

### 3.1.2 Son histoire en dentisterie

En dentisterie, les instruments ultrasonores utilisent majoritairement la piézo-électricité mais il existe également d'autres techniques telles que la magnétostriction, découverte en 1842 par James Prescott Joule, ainsi que la ferro-magnétostriction similaire à la dernière citée.

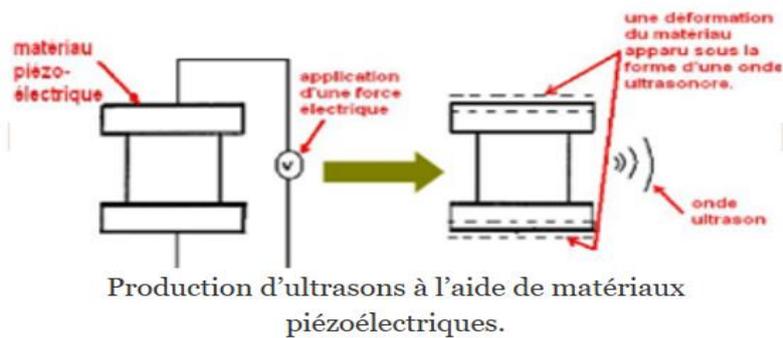
Les ultrasons magnétostrictifs ont pour principal inconvénient de donner un mouvement elliptique non propice aux traitements conservateurs, endodontiques chirurgicaux et non chirurgicaux. Ils seront donc exclusivement utilisés lors de traitements parodontaux d'après certains auteurs (Plotino et al. 2007).



- 1.courant électrique alternatif 2.contre-masse 3.pastilles de céramiques 4.amplificateur  
5.insert

*Illustration 27 : Schéma représentant les différents éléments d'une pièce à main piézo-électrique (Seyriq 2015)*

Les détartreurs piézoélectriques, quant à eux, ont une fréquence comprise entre 18000 et 35000 Hz qui entraîne une vibration linéaire avec une amplitude de 12 à 100 micromètres. Ceux utilisés en dentisterie sont composés d'une pièce à main comportant des disques en céramique incrustés électriquement réactifs, qui vont changer de forme avec une élévation et une contraction successives lorsque le courant est alterné, provoquant ainsi la vibration de l'insert (Van der Weijden 2007).



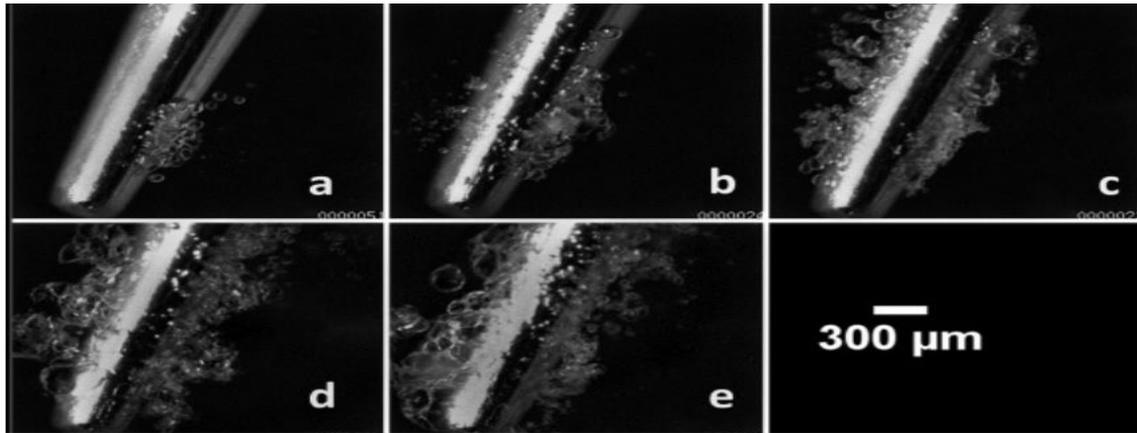
*Illustration 28 : schéma illustrant la formation d'une onde ultrasonore par piézo-électricité (Fekir et al. 2008)*

En effet, ce principe est basé sur ce que l'on appelle le triplet de Langevin, mis au point par Paul Langevin vers 1915, où l'on associe plusieurs disques de céramique piézo-électrique mis en contrainte entre deux masses métalliques, pour éviter toute fracture et avoir une fréquence définie. On va ainsi pouvoir obtenir un déplacement à partir d'un courant électrique alternatif car les disques de céramique vont se contracter et se relâcher alternativement (Blanc 2008).

Les matériaux piézo-électriques sont donc des transducteurs, transformant un signal électrique en une onde mécanique qui produit des ultrasons fonctionnant à une fréquence inaudible pour l'Homme. De nouvelles céramiques d'oxyde ternaire de plomb dites « PZT » seront mis au point dans les années 60, et permettront d'augmenter davantage l'efficacité de la piézo-électricité ainsi que son utilisation à l'échelle industrielle. C'est d'ailleurs dans ces années que les ultrasons commencent à être recommandés pour les actes de type détartrage (Millon 2003).

### 3.1.3 Les effets des ultrasons

Les ultrasons en odontologie vont avoir des effets biologiques et bio-mécaniques qu'il est important de connaître, afin de comprendre l'action de ces derniers. En effet, au niveau biologique, nous avons tout d'abord ce que l'on appelle l'effet de cavitation (du latin « cavus » qui signifie trou) qui correspond à la formation de microbulles à partir de l'irrigation, au contact d'une surface en vibration. Ces dernières vont alors imploser et provoquer une onde de choc participant à l'action mécanique de l'insert. Plusieurs phénomènes locaux peuvent être associés à la cavitation tels que les microcourants provoqués par les bulles, la production d'ondes de choc dues à l'implosion des bulles et des augmentations de température (Van der Weijden 2007).



*Illustration 29 : le phénomène de cavitation (Vyas et al. 2017a)*

On observe également des phénomènes thermiques qui doivent être limités à l'aide de l'irrigation afin de ne pas endommager les structures, mais parfois utilisés à notre avantage, comme pour le ramollissement des matériaux d'obturation.

L'usage des ultrasons engendre une production d'aérosols qui a la possibilité de transmettre des micro-organismes pathogènes dans l'air ambiant, ce qui représente un danger pour le praticien ou l'aide opératoire, notamment avec un générateur magnétostrictif où l'on a deux à six fois plus de risques qu'avec un générateur piézo-électrique (Timmerman et al. 2004). Pour limiter cela au maximum, il est conseillé d'avoir un bon rapport puissance / débit d'irrigation ainsi que le port d'un masque et de lunettes de protection.

Au niveau biomécanique, nous allons retrouver l'effet de martèlement de l'insert qui, lorsqu'il se trouve au contact de la surface, va venir heurter cette dernière de manière répétée ; par exemple afin de désorganiser le ciment présent sous une couronne. En parallèle, l'effet de balayage qui correspond tout simplement au déplacement tangentielle par rapport à la surface avec l'insert, ce qui provoque une force de frottement à la surface.

Enfin, avec l'apparition des inserts diamantés utilisés notamment en odontologie conservatrice, il existe un effet d'abrasion dépendant de la qualité du diamant ainsi que de la dureté de surface.

⇒ Ainsi, ces inserts sont très efficaces sur l'émail mais d'aucune façon sur les tissus mous.

On peut également noter les effets au niveau chimique des ultrasons avec la « sonochimie », qui représente une piste à explorer au niveau odontologique car les ultrasons peuvent être d'excellents catalyseurs de réactions chimiques (Gagnot 2008).

## 3.2 Son utilisation en dentisterie opératoire

### 3.2.1 Phénomènes physiques sur la dent



*Illustration 30 : insert d'ultrasono-abrasion (Karasiewicz 2017)*

Cette technique a été proposée dès les années 50 en dentisterie restauratrice par plusieurs auteurs, qui utilisaient des instruments ultrasoniques associés à une pâte abrasive, mais qui sera vite remplacée par les instruments rotatifs tels que la turbine, plus efficaces (Banerjee et al. 2000).

Néanmoins, depuis les années 90, l'ultrasono-abrasion est de nouveau utilisée dans le cadre de la dentisterie à minima en s'appuyant sur la piézo-électricité, comme avec le Piezon master 700® d'EMS ou le Pmax Newtron® d'Acteon notamment.

Ces instruments sont composés d'une pièce à main ultrasonore sur laquelle on vient placer des inserts, dont le « design » diffère selon l'utilisation mais qui permettent en général d'avoir une excellente visibilité du fait de leur longueur et de leur finesse. Contrairement aux inserts classiquement utilisés en parodontologie, ils sont diamantés au niveau de la partie travaillante avec une granulométrie qui va différer selon l'indication.

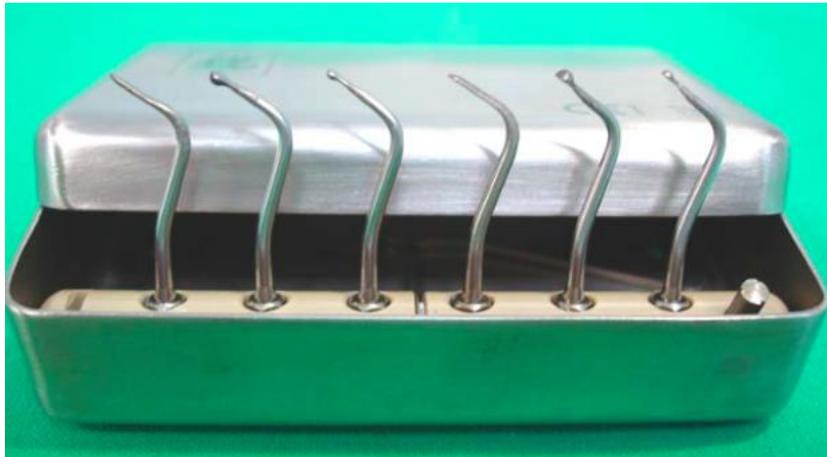
Les instruments ultrasonores vont avoir une action travaillante par l'intermédiaire de leurs inserts par quatre phénomènes (Bramoullé 2014):

- ✓ la vibration, définie par une fréquence qui génère l'amplitude et le trajet décrit par l'insert et règle l'impact de l'instrument sur les tissus. La vibration va donc varier selon la puissance délivrée par le générateur, l'insert utilisé et selon la quantité de fluide utilisée en association ; quand le débit de fluide augmente, la vibration s'affaiblit.
- ✓ L'abrasion, qui est en fait l'effet mécanique lié à la vibration, va dépendre de la granulométrie de l'insert ainsi que de la dureté du tissu ; plus le tissu rencontré sera dur, plus l'abrasion sera efficace. C'est pourquoi l'ultrasono-abrasion possède une action très efficace sur l'émail et un effet iatrogène nul au niveau des tissus mous.

- ✓ L'effet thermique est le produit du gradient de vitesse de l'onde ultrasonore avec la viscosité du milieu et il est proportionnel à l'énergie vibratoire ainsi qu'au temps d'exposition. Chaque tissu biologique a un coefficient d'absorption qui définit la quantité de chaleur produite par l'onde ultrasonore. Il va donc varier en fonction du temps et de la vibration, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser une irrigation abondante ainsi que de travailler par contacts intermittents afin de ne pas créer d'échauffement des tissus.
- ✓ La cavitation correspond à l'implosion des microbulles formées par les ondes ultrasonores dans le liquide d'irrigation comme on l'a vu précédemment. Elle joue un rôle important dans le nettoyage des surfaces et l'élimination des débris.

### 3.2.2 Les instruments soniques

Parallèlement à ce nouvel usage des ultrasons en dentisterie, un second système oscillatoire se développe durant ces années avec ce que l'on appelle simplement la sono-abrasion qui présente des différences avec sa « grande sœur ». En effet, comme sa dénomination nous l'indique, ces instruments utilisent une fréquence audible pour l'Homme de l'ordre de 6000 Hz avec trois niveaux de puissance selon le traitement, en exerçant une amplitude inférieure à 200 µm. Les vibrations vont être créées ici par l'air comprimé à partir de l'unité qui actionne un rotor pneumatique provoquant une oscillation circulaire au niveau de l'insert.



*Illustration 31 : le kit Sonicsys® micro de Kavo (Karasiewicz 2017)*

La société Kavo propose par exemple le système Sonicsys® micro utilisant ce système, avec des inserts ayant des morphologies différentes selon les situations cliniques rencontrées, de manière similaire aux inserts d'ultrasono-abrasion.

### 3.2.3 Les ultrasons dans le cadre d'une dentisterie à minima

La société Acteon propose en odontologie conservatrice le kit Excavus® utilisant le système ultrasonique, avec cinq types d'inserts diamantés ayant chacun une indication bien spécifique :

- EX1 est un insert boule permettant de traiter les lésions carieuses de sites 1 et 3
- EX2 présente une forme demi-boule supérieure pour les cavités de site 2 au niveau mésial sans léser la dent adjacente du fait que l'on ait une surface héli-travaillante
- EX3 permet de traiter les lésions carieuses au niveau distal avec une forme hémisphérique inférieure
- EXL possède également une forme de demi boule orientée de 45° à gauche (L pour left) afin de traiter les lésions carieuses difficiles d'accès notamment en postérieur
- EXD est semblable au précédent mais orienté à droite



*Illustration 32 : le kit Excavus® d'Acteon (Acteon 2014)*

Il apparaît clairement que ces instruments ont été développés dans le cadre d'une dentisterie ultra-conservatrice, avec des inserts adaptés à chaque cas spécifiquement, ainsi que par la finesse de ces derniers avec des extrémités travaillantes d'environ 1,5 mm de diamètre. C'est la raison pour laquelle ces instruments sont utilisés en général pour des lésions carieuses

débutantes ou modérées de stade 1 ou 2 sur l'ensemble des sites, afin de conserver un maximum de structures saines.

L'indication la plus souvent citée sont les lésions carieuses proximales où la dentine est peu lésée, car il est classiquement nécessaire d'aller éliminer la crête marginale afin d'accéder à la partie cariée. Pour éviter cela, on peut réaliser ce que l'on appelle des cavités dites « tunnels » ou en « entonnoirs » si la crête présente une épaisseur suffisante, en réalisant un abord occlusal ou vestibulaire selon l'anatomie dentaire ainsi que la topographie de la lésion (Tassery et al. 2008) (Toledano 2006).

En effet, la finesse et le choix de morphologie des inserts à notre disposition permettent un accès nettement moins iatrogène à la lésion, par comparaison avec les systèmes classiquement utilisés en cabinet telles que les contre-angles ou turbines.

### 3.2.4 Les ultrasons : une utilisation pluridisciplinaire

Par ailleurs, l'engouement suscité par les ultrasons utilisant la piézo-électricité en dentisterie ne se limite pas en odontologie conservatrice ou en parodontologie. En effet, les sociétés précédemment citées ont également produit des coffrets ou kits destinés à l'endodontie, la prothèse ou encore à la chirurgie avec à chaque fois des granulométries, des formes et compositions d'inserts différentes (Kavo Dental 2014).

En endodontie, les inserts permettent d'obtenir une cavité d'accès de qualité en limitant les risques de perforations, d'élargir, de faciliter l'accès aux entrées canalaire afin de passer les limes, d'activer la solution d'irrigation ou encore lors des chirurgies apicales pour éliminer les kystes.

En prothèse, ces derniers sont principalement utilisés en finition au niveau des limites cervicales par le biais d'inserts diamantés de faible granulométrie, ainsi que dans la préparation des cavités de restaurations indirectes de type inlays. Ils peuvent aussi apporter une précieuse aide à la dépose des éléments prothétiques telles que les couronnes en désorganisant efficacement le joint de ciment (Chen et al. 2013).

En chirurgie, ils peuvent être utilisés en chirurgie pré-implantaire ou implantaire, pour les extractions simples ou plus complexes, ou encore en chirurgie parodontale. Ils présentent un réel intérêt car ils ne lèsent pas les tissus mous, permettent de réaliser un travail minutieux et également d'accéder de manière plus aisée aux zones difficilement accessibles de par leurs formes et leur maniabilité (Seyrig 2015).

Enfin, ils sont particulièrement utilisés en dentisterie esthétique pour traiter des défauts amélaire de type MIH, fluorose ou encore des reminéralisations disgracieuses (type brown spot) en association ou en remplacement de l'ICON (Ortet et al. 2011).

### 3.2.5 Précautions d'emploi

Bien que les ultrasons possèdent de nombreuses applications en dentisterie, il ne faut pas omettre le fait qu'il existe des contre-indications à leur emploi.

En effet, par exemple durant les années 1970, les cabinets dentaires ont été désignés comme des environnements potentiellement dangereux pour les patients porteurs d'un pacemaker en raison des différentes unités électriques, pouvant produire des champs électromagnétiques. Ainsi, l'utilisation des ultrasons pour les patients porteurs de pacemaker posés avant 1985 fut contre indiquée, ceux-ci étant sensibles aux champs électromagnétiques que délivrent les générateurs magnétostrictifs (Miller et al. 1998).

En revanche, les ultrasons produits par piézoélectricité, qui ne forment pas de champs magnétiques, ne représentent ainsi aucun danger notable pour ces patients bien que le doute subsiste dans l'imaginaire collectif (Maiorana et al. 2013). On peut noter que les détartreurs soniques qui fonctionnent avec de l'air comprimé, ne produisant donc aucun champ électromagnétique, sont donc également une bonne alternative pour un détartrage chez ces patients (Van der Weijden 2007).

Les maladies graves et contagieuses, telles que l'hépatite et la tuberculose, peuvent aussi représenter un risque avec l'effet d'aérosol créé lors de l'utilisation des ultrasons. Ainsi, (Walmsley et al. 1988) affirmaient que l'utilisation des ultrasons chez les patients présentant des maladies contagieuses était contre indiquée. Malgré cela, de nos jours, la contamination via un aérosol par le virus de l'hépatite B ou du VIH est considérée comme nul, bien qu'une contamination potentielle demeure, en respectant des règles d'hygiène adéquates et strictes pour chaque patient.

En revanche, selon (Van der Weijden 2007), l'utilisation des instruments ultrasoniques est contre-indiquée pour tous patients présentant un système immunitaire déficient suite à une pathologie ou à une médication, ainsi que pour les patients présentant des problèmes respiratoires. En effet, les aérosols infectés peuvent facilement passer au travers de leurs poumons, pouvant ainsi provoquer des infections respiratoires. Néanmoins, à l'heure actuelle, on considère qu'une antibioprophylaxie une heure avant le rendez-vous permet l'emploi des ultrasons chez ces patients, en écartant tout risque de contamination bactérienne.

### 3.2.6 Les avantages de l'ultrasono-abrasion

Les instruments ultrasonores possèdent de nombreux atouts en odontologie conservatrice, tant au niveau de la qualité du soin en lui-même que pour le confort du patient et du praticien.

En effet, ils ne provoquent pas de sons audibles par le patient, contrairement à la traditionnelle turbine, dont le bruit peut être un facteur de stress chez les patients plus particulièrement chez les enfants ; c'est d'ailleurs une des raisons qui font que l'ultrasono-

abrasion est particulièrement appréciée en pédodontie (Gagnot 2008). De même, ils ne provoquent pas de vibrations désagréables et peuvent, dans la majeure partie des cas, éviter l'anesthésie au patient (Altukroni et al. 2017).

Comme nous avons pu le voir précédemment, cette technique permet également un confort appréciable pour le praticien, du fait de l'anatomie des inserts qui permettent de gérer l'accès à la carie dans l'ensemble des situations possibles, d'avoir une vision nette et dégagée de la zone de travail à l'aide du spray d'eau continu (Decup et Lasfargues 2012).

Un des arguments avancé par les détracteurs des instruments oscillants pour traiter les lésions carieuses était que ces derniers représentaient un risque au niveau pulpaire, en créant un échauffement trop important. Cependant, plusieurs études dont celles de (Vanderlei et al. 2008) ont démontré que ces instruments entraînaient un échauffement pulpaire similaire voir inférieur à celui provoqué par les instruments rotatifs classiques, quand on utilise un spray d'eau continu comme cela est conseillé par les fabricants. En effet, les auteurs ont retrouvé une augmentation de la température pulpaire de 4,3°C après utilisation de la turbine contre 3,8°C avec l'instrument ultrasonique.

Les inserts ultrasoniques utilisés en odontologie conservatrice font partie intégrante des instruments de la nouvelle génération de dentisterie dite « à minima » car ils permettent de préserver des structures saines, indemnes de carie, en comparaison avec les systèmes plus conventionnels.

Ainsi, pour les lésions carieuses de site 2, ces instruments vont être utilisés pour réaliser des cavités dites « tunnels » comme nous l'avons vu précédemment ; cela consiste à préserver la crête marginale de la dent en réalisant un abord occlusal afin d'accéder à la lésion carieuse située classiquement sous le point de contact. La préservation de cette crête marginale est primordiale, car elle permet de limiter la fragilisation de la dent suite à l'éviction carieuse et permet dans le même temps de conserver un point de contact naturel, pas toujours évident à reconstituer. Ainsi, une étude de 2003 menée au niveau de la région PACA estimait que 20% des points de contacts reconstitués étaient non satisfaisant (Mazière 2016).

Dans le même esprit, des cavités par abord vestibulo-lingual dites « slots », peuvent aussi être réalisées avec ces inserts si les conditions cliniques l'indiquent, afin de limiter la destruction tissulaire en accédant à la zone lésée. Cela est rendu possible par la finesse et le design des inserts en permettant l'accès à des zones difficilement accessibles avec des fraises classiques (Etienne et Toledano 2013).



*Illustrations 33 et 34 : cavité tunnel et cavité slot réalisées avec l'ultra-sonoabrasion (Naute 2014) (Gheck 2002)*

Au niveau des tissus parodontaux, ces instruments permettent une préservation complète de ceux-ci du fait que les ultrasons ont une action dépendante de la dureté du matériau ; plus le matériau est dur, plus l'action sera efficace. De ce fait, les lésions carieuses de site 3 juxta-gingivales pourront être éliminées à l'aide des inserts, sans avoir un saignement gingival iatrogène qui limiterait le potentiel d'adhésion de la restauration (Decup et Lasfargues 2012).



*Illustration 35 : utilisation de l'insert ultrasonique au niveau cervical (Decup et Lasfargues 2012)*

### 3.3 Quid de la surface d'adhésion ?

#### 3.3.1 Le phénomène de cavitation et l'état de surface

Après une éviction carieuse, il est primordial d'avoir un état de surface compatible avec les matériaux de collage que nous avons à notre disposition, en minimisant les restes de boue dentinaire ou «smear layer» (Degrange et Pourreyron 2009). Les instruments ultrasoniques ont fait l'objet d'études quant au phénomène de cavitation, car ce dernier va permettre de dégrader les tissus cariés et de nettoyer la boue dentinaire par implosion des bulles de cavitation ainsi que par la formation de micro-courants (Gagnot 2008).

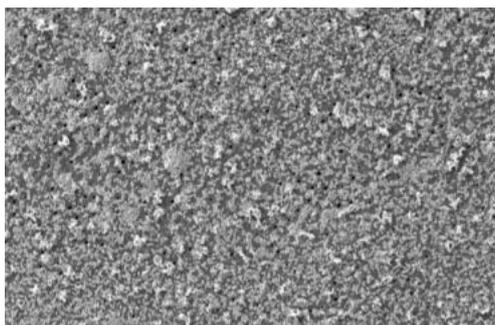


Illustration 36 : état de surface dentinaire à t = 0 (Vyas 2017)

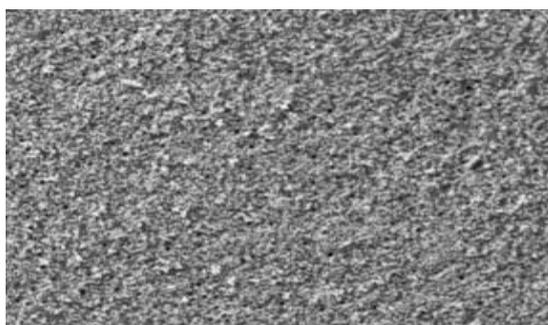


Illustration 37 : état de surface dentinaire après passage des ultrasons (Vyas 2017)

Ainsi, comme nous pouvons le constater sur les deux images ci-dessus, le passage des ultrasons va éliminer les débris se situant en surface (Vyas 2017). De la même manière, ce phénomène de cavitation semble avoir une action désinfectante car des études montrent que le taux de bactéries *S.mutans*, impliquées dans la maladie carieuse, est significativement moins important après passage d'un instrument ultrasonique qu'un instrument rotatif classique (Hassan et al. 2016).

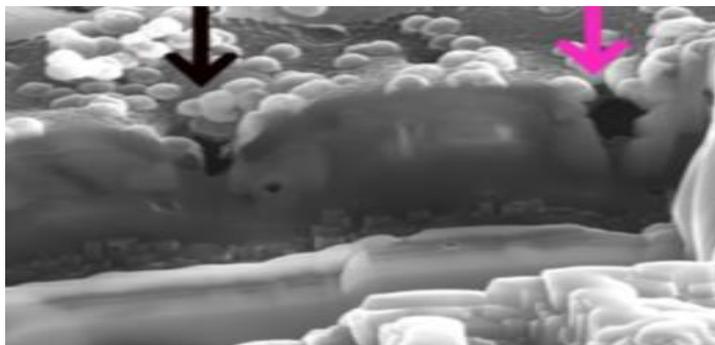


Illustration 38 : particules de silice obstruant les tubules dentinaires suite au phénomène de cavitation (Vyas et al. 2017b)

D'autres auteurs ont même proposé la cavitation comme possible solution de traitement des sensibilités dentaires, car ils se sont aperçus qu'en associant à l'eau des particules de silices,

ces dernières étaient entraînées au niveau des tubules dentinaires ainsi obstrués (Vyas et al. 2017b).

De manière générale, l'ensemble des travaux de recherche montrent que l'utilisation de l'ultrasono-abrasion permet d'obtenir une fine couche de boue dentinaire, avec de nombreux tubules ouverts et exposés (Horne et al. 2012) ainsi qu'une surface assez homogène (Yoshiyama et al. 2004). Cette configuration est optimale pour effectuer une restauration adhésive avec une surface d'adhésion augmentée car le potentiel de collage sera plus important (Weisrock et al. 2011).

Les mêmes constats ont été effectués par (de Almeida Neves et al. 2011) avec une qualité d'adhésion particulièrement intéressante obtenue avec un système auto-mordant de type léger (mild). De la même façon, les finitions obtenues seraient particulièrement nettes ce qui explique l'accroissement de leur utilisation pour réaliser les limites cervicales en dentisterie esthétique.



*Illustration 39 : finitions obtenues avec l'ultra-sonoabrasion après grossissement x 25 (Ellis et al. 2012)*

En revanche, certaines études ont montré la présence de craquelures amélaire (Ellis et al. 2012) bien que cela soit remis en cause par d'autres recherches (Lima et al. 2006).

### 3.3.2 Comparatifs avec d'autres systèmes d'éviction carieuse

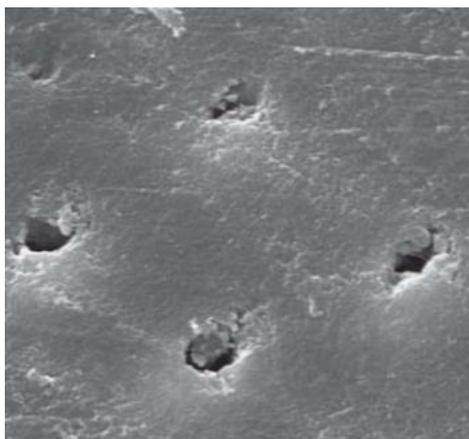
Les systèmes ultrasoniques ont été comparés avec les principaux moyens d'éviction carieuse à travers différentes études avec, comme nous allons le voir, certaines contradictions au niveau des résultats.

En effet, (Ferrazzano et al. 2017) ont comparé l'état de surface ainsi que l'adhésion obtenue après passage des inserts diamantés par rapport aux fraises classiques sur turbine, en réalisant des préparations pour des scellements de sillons. Leurs résultats ont montrés qu'il y avait plus de débris ainsi qu'une surface plus irrégulière avec l'ultrasono-abrasion, ainsi qu'une adhésion de qualité moindre. Une seconde étude comparant ces deux mêmes systèmes indique que le micro-clavetage, induit par la surface de préparation, est significativement moins efficace avec

les inserts diamantés malgré la présence d'une fine couche de boue dentinaire (Vieira et al. 2007).

Cependant, d'autres auteurs ont menés des recherches amenant des résultats différents ou même opposés. On retrouve alors aucune différence significative au niveau du micro-clavetage comparativement aux fraises classiques ou aux lasers, ainsi qu'une qualité au niveau de la couche hybride semblable après préparation avec des fraises diamantés et utilisation d'un système adhésif auto-mordant (Muhammed et Dayem 2015) (Pereira Nogueira et al. 2012). De plus, une étude turque fait un comparatif du taux d'adhésion à la dentine affectée, après emploi d'un système M+R, entre les instruments rotatifs, l'air-abrasion, le Carisolv® et les inserts diamantés ; dans ce cas également, aucune différence significative n'a été retrouvée entre ces quatre systèmes (Çehreli et al. 2003).

Une autre étude a analysé les différences de force de liaison à la dentine en utilisant trois types de systèmes adhésifs (un avec mordantage préalable et deux auto-mordants) après préparation par laser ainsi qu'avec des fraises et inserts diamantés. Les auteurs ont pu observer une fine couche de boue dentinaire avec des tubules partiellement ouverts avec le système ultrasonique (Da Silva 2013).



*Illustration 40 : surface préparée par ultrasono-abrasion observée par microscopie à balayage avec un grossissement X 5000 (Da Silva 2013)*

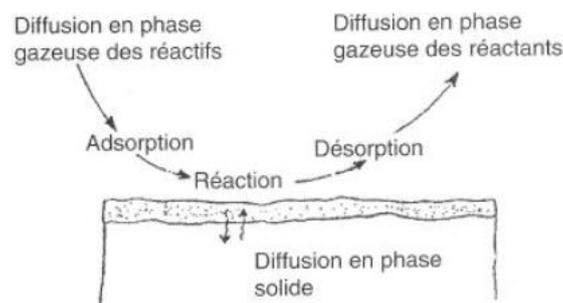
Ils ont également constaté que le type de système d'adhésif n'influe pas significativement sur les performances d'adhésion pour l'ultrasono-abrasion et que cette dernière était supérieure au laser de type Er-YAG. Ces mêmes constats ont été faits par (Oliveira et al. 2007) avec de nouveau aucune différence quant au type d'adhésif choisi.

Enfin, l'adhésion en elle-même, est dépendante comme on l'a vu de l'état de surface mais également des propriétés de l'adhésif utilisé. Ainsi, une étude menée par (Cardoso et al. 2008) a comparé les forces de liaisons obtenues après l'emploi de différentes techniques d'éviction carieuse et adhésifs :

- fraises diamantées classiques montées sur turbine
- fraises diamantées fabriquées par « chemical vapor deposition » montées sur turbine
- inserts CVD associés à un système ultrasonique
- laser Er, Cr : EYSGG
- adhésifs nécessitant un mordantage et un rinçage préalable
- adhésif auto-mordançant en une ou deux étapes.

Dans cette dernière, la meilleure adhésion a été obtenue avec la combinaison des fraises diamantées montées sur turbine associées au système adhésif M+R, qui est également le système montrant les meilleurs résultats avec l'ultrasono-abrasion. Selon les auteurs, ces taux d'adhésion sont dus en partie du fait que les systèmes CVD induiraient des micro-craquelures diminuant ainsi la force de liaison.

→ Les inserts et fraises utilisés dans cette étude sont des instruments fabriqués par dépôt chimique en phase vapeur ou « chemical vapor deposition » (CVD) en anglais, qui est un processus chimique de fabrication complexe où l'on revêt un substrat d'une couche issue d'une source (ici une couche de diamant) au sein d'un milieu, qui est le siège du transfert de matière (Silva 2011).



*Illustration 41 : schéma représentant le processus complexe de dépôt chimique en phase vapeur (Silva 2011)*

Ce procédé a été proposé en dentisterie, et plus précisément pour les inserts diamantés, avec les CVDentUS® en 1999 à Sao Paulo, afin de diminuer l'usure de la partie diamantée des inserts ainsi que d'augmenter la capacité de coupe (Lima et al. 2006). Ceci s'explique par le fait que, contrairement aux instruments diamantés classiques, la couche diamantée est homogène avec une absence d'espace entre les grains formant ainsi une structure davantage solide. Ces dernières représentent une voie d'avenir intéressante mais néanmoins, des études supplémentaires avec un niveau de preuve suffisant doivent être entreprises, pour pouvoir considérer ce type d'insert comme une solution de choix (Carvalho et al. 2007).

## 4 Fiche clinique et cas clinique

### 4.1 Guide clinique

#### 4.1.1 Contexte

Au début de l'année 2018, des kits Excavus® de la société Acteon ont été mis à disposition des étudiants du service de stomatologie de la Pitié Salpêtrière. Les indications ainsi que le fonctionnement de l'ultrasono-abrasion n'étant pas forcément connus de tous, une fiche technique succincte a été réalisée à destination des étudiants, permettant une première approche de ce système.

#### 4.1.2 Présentation du guide clinique

### **Fiche clinique d'utilisation des inserts ultrasonores**

L'ultrasono-abrasion est considérée depuis une quinzaine d'années environ comme une solution alternative ou complémentaire aux instruments rotatifs traditionnels, dans le cadre d'une dentisterie non-invasive. Des inserts similaires à ceux utilisés en parodontie comportent une partie travaillante diamantée qui peut avoir différentes formes, permettant ainsi de répondre à la majorité des situations cliniques rencontrées.

Il existe différentes étapes à respecter :

1. Tout d'abord, il faut commencer par poser l'indication:



-lésion carieuse stade 1 ou 2 / site 1 avec une ouverture des sillons à minima.



*(Gheck 2002)*

- lésion carieuse stade 1 ou 2 / site 2 en réalisant une cavité tunnel (par abord occlusal) ou de type gouttière (accès vestibulo-lingual) afin de conserver la crête marginale.



*(Decup et Lasfarques 2012)*

- lésion carieuse stade 1 ou 2 / site 3 dans le but de préserver le parodonte, éviter un saignement et ainsi d'assurer un collage optimal.
- Les lésions carieuses plus profondes présentent une dentine trop ramollie sur laquelle l'ultra-sonoabrasion se révèle inefficace. En effet, les instruments ultrasoniques vont avoir une **efficacité importante sur les tissus durs** comme l'émail, mais très limitée voire inexistante sur les tissus mous.
- Ces inserts seront donc utilisés en cas de **lésions carieuses limitées à l'émail ou au premiers tiers dentinaire** et ont l'avantage dans ces cas de ne pas nécessiter d'anesthésie systématique. Leur usage peut être étendu aux atteintes plus importantes, en association avec les instruments rotatifs, afin d'obtenir des finitions amélaire plus nettes.

**2. S'assurer que l'état de santé du patient permet l'emploi des ultrasons** ; si nécessaire, une antibioprofylaxie doit être mise en place. Il est primordial de **mettre un masque et des lunettes** pour éviter tout risque de projections sur le visage car les ultrasons entraînent une production d'aérosols.

3. **Choisir le bon insert** adapté à la localisation de l'atteinte (Acteon 2014) :

- site 1 et 3 avec l'EX1 qui possède une forme boule classique



- site 2 en mésial avec l'EX2 qui a une forme de demi-boule supérieure



-site 2 en distal avec l'EX3 qui est aussi en demi-boule mais inférieure



→ Le design des inserts permet un confort de travail particulièrement appréciable en facilitant l'accès à des zones pas toujours simples à traiter avec les instruments conventionnels.

4. Bien serrer à l'aide de la clé de serrage Acteon l'insert sélectionné, sur la même pièce à main qui est utilisée lors des détartrages.

5. Avant toute utilisation, s'assurer impérativement d'un **débit d'eau suffisant** et vérifier que la puissance de l'ultrason se situe entre 80 et 100 %.

→ Il faut que l'insert soit bien irrigué pour limiter l'usure prématurée de ces derniers ainsi que pour que l'ensemble des phénomènes physiques inhérents aux ultrasons soient effectifs.

6. Une fois l'éviction carieuse achevée, le choix du système adhésif se pose. D'après les études menées à ce sujet, **les systèmes avec mordançage préalable ou auto-mordançant ne présentent pas de différence au niveau de l'adhésion** aux tissus dentaires, après passage des inserts diamantés.

## 4.2 Cas clinique

Monsieur S. est un homme de 30 ans adressé par le service de chirurgie de la Pitié-Salpêtrière où il a été pris en charge pour une avulsion dentaire. Ce dernier possède de nombreuses dents manquantes pour raisons carieuses et présente une hygiène dentaire perfectible. Après une motivation à l'hygiène bucco-dentaire ainsi qu'un détartrage, nous avons réalisé les clichés photographiques et radiographiques avant de procéder au traitement des lésions carieuses présentes.



À l'examen clinique, nous avons constaté que le patient présente un édentement de classe III subdivision 2 au maxillaire et de classe III subdivision 1 à la mandibule ainsi que trois lésions carieuses :

- Sur la 13, une lésion carieuse mésiale de stade 2.



- Sur la 45 (non visible sur le premier cliché du fait de l'orientation de ce dernier) avec une lésion carieuse mésiale de stade 4.



- Sur la 37, deux lésions carieuses vestibulaire de stade 3 et occlusale de stade 1.



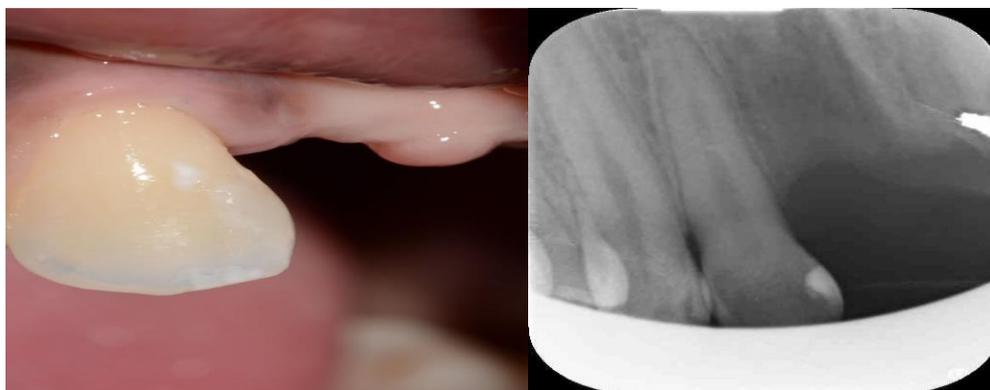
Pour traiter ces dernières, nous avons décidé après mise en place du champ opératoire, de réaliser les évictions carieuses à l'aide des instruments ultrasoniques associés aux instruments rotatifs classiques. En effet, compte tenu de l'étendue des lésions carieuses en vestibulaire de 37 et de la 45, les inserts diamantés seuls ne permettent pas d'éliminer l'ensemble des tissus altérés du fait de leur manque d'efficacité sur la dentine ramollie. De par la localisation des atteintes carieuses, nous avons fait le choix d'utiliser les inserts EX1 et EX2, respectivement pour la 13 et 37 d'une part et pour la 45 d'autre part.



- Au niveau de la canine maxillaire, l'éviction carieuse a pu se réaliser sans anesthésie dans son intégralité avec une douleur inexistante et, par conséquent, un confort appréciable pour le patient.



Après le passage de l'insert EX1, on peut observer une dentine saine avec des bords nets permettant la mise en place d'une résine composite.



- La 45 présente, comme nous l'avons vu précédemment, une lésion carieuse juxta-pulpaire avec une douleur au froid importante mais de manière non spontanée selon le patient.

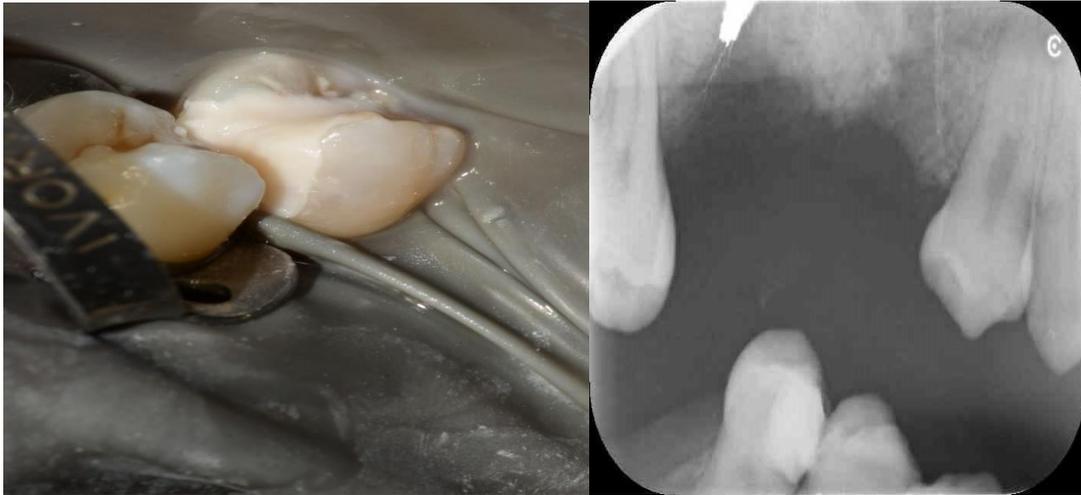


Après une anesthésie locale, nous avons procédé à l'éviction carieuse en utilisant l'insert EX2 dans ce cas, du fait de la localisation de l'atteinte.

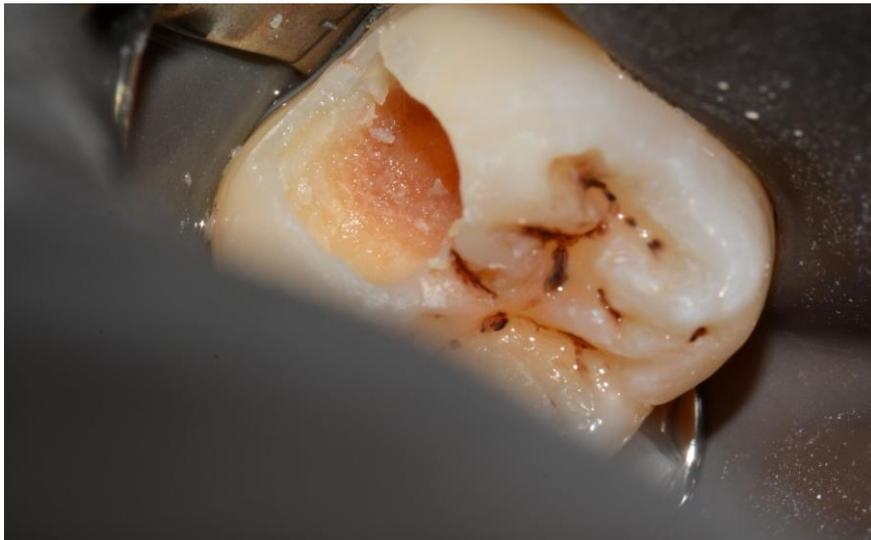


Étant donné l'efficacité limitée de l'ultrasono-abrasion sur les tissus ramollis ainsi que de la proximité pulpaire, nous avons décidé d'utiliser une fraise céramique montée sur contre-angle bague bleue, puis un excavateur, pour éliminer l'ensemble des tissus altérés.

Un ciment aux verres ionomères a ensuite été réalisé en temporisation afin d'assurer une bonne étanchéité.



- La 37 présente une lésion carieuse cavitaire en vestibulaire, particulièrement sensible au froid d'après la patient, et une seconde limitée à l'émail en occlusal. Pour les traiter, un insert EX1 a été sélectionné du fait de l'accès à ces dernières après anesthésie locale.



Après cela, comme pour le cas précédent, une fraise céramique montée sur contre-angle bague bleue sera utilisée pour éliminer la dentine infectée. Toutefois, nous pouvons constater sur l'image la netteté des berges d'émail après passage de l'insert.



La lésion carieuse occlusale sera traitée simplement avec une fissurotomie puis mise en place d'un sealent tandis qu'une résine composite sera réalisée pour la lésion la plus volumineuse.

⇒ Le patient a été revu la semaine suivante en contrôle. Les sensibilités au froid décrites auparavant par ce dernier ont totalement disparues ; M. S. a été par la suite pris en charge dans le cadre du programme de la PASS par un étudiant de sixième année, afin de réaliser la partie prothétique du plan de traitement.

Un onlay céramique sera réalisé par la suite pour remplacer la perte de substance au niveau de la 45, ainsi que des prothèses à châssis métallique au maxillaire et à la mandibule, afin de retrouver une fonctionnalité et une esthétique convenables.

## 5 Conclusion

Les connaissances apportées ces dernières années sur le processus carieux ont permis de développer des systèmes de détection et d'éviction plus performants, permettant une meilleure conservation des tissus dentaires dans le cadre de la dentisterie à minima. Néanmoins, la majorité de ces techniques présentent des inconvénients notables tels que le manque de recul clinique, leur temps d'application ou encore leur coût, ce qui peut expliquer leur faible expansion au sein des cabinets dentaires.

Les instruments ultrasonores présentent de nombreux attraits dans l'éviction des lésions carieuses débutantes avec une facilité d'accès accrue grâce aux différents designs des inserts, un confort de travail appréciable pour le patient et le praticien ou encore un état de surface permettant un collage de qualité. Néanmoins, ces derniers restent pour le moment en odontologie conservatrice une solution alternative et complémentaire dans le cadre d'une

dentisterie à minima, mais ne sont en aucun cas une solution de remplacement des instruments rotatifs traditionnels.

En effet, leur manque d'efficacité au niveau de tissus ramollis par la carie augmente le temps de travail de manière importante ce qui peut être un frein pour un exercice en cabinet privé (Vanderlei et al. 2008). De plus, l'emploi des inserts pourrait induire des craquelures ou fissures microscopiques au niveau des tissus dentaires, ce qui engendre des fragilisations ainsi que des défauts éventuels d'étanchéité bien que, comme nous l'avons vu, les résultats des études sont contradictoires. Gagnot précise d'ailleurs dans son ouvrage que ce sont les percussions non maîtrisées qui peuvent les créer, si l'instrument n'a pas été réglé de la bonne manière (Gagnot 2008).

Le coût de ces instruments peut aussi représenter une barrière pour de nombreux praticiens car le prix d'un kit d'inserts, en l'occurrence Excavus® d'Acteon, représente plusieurs centaines d'euros avec une usure semblable aux fraises classiques. Enfin, malgré le fait que ces instruments permettent un accès visuel appréciable, le contrôle visuel et tactile est très difficile, respectivement du fait de l'importance de l'irrigation et de la sensation tactile bien différente de la turbine qu'il faut progressivement appréhender.

D'autres études de haut niveau de preuve, notamment analysant la surface d'adhésion et son potentiel de collage, doivent être entreprises afin de pouvoir considérer ces instruments comme une solution de référence dans le traitement des lésions carieuses (Ntovas et al. 2017).

## Bibliographie

- Abbasoğlu Z, Tanboğa İ, Calvano Küchler E, Deeley K, Weber M, Kaspar C, et al. Early Childhood Caries Is Associated with Genetic Variants in Enamel Formation and Immune Response Genes. *Caries Res.* 2015;49(1):70-7.
- Abogazalah N, Ando M. Alternative methods to visual and radiographic examinations for approximal caries detection. *J Oral Sci.* 2017;59(3):315-22.
- Acteon. Le kit Excavus [Internet]. 2014 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: [support-acteon-equipment.com/download-file-documentation.php?id=2345](http://support-acteon-equipment.com/download-file-documentation.php?id=2345)
- Ahmed AAR, García-Godoy F, Kunzelmann K-H. Self-limiting caries therapy with proteolytic agents. *Am J Dent.* 2008;21(5):12.
- de Almeida Neves A, Coutinho E, Lambrechts P. Current Concepts and Techniques for Caries Excavation and Adhesion to Residual Dentin. *J Adhes Dent.* 2011;6(1):7–22.
- Altukroni A, Alabduh M, khliaeil B. Ultrasonic Excavator. *EC Dent Sci.* 2017;16(6):249-54.
- Amaechi BT. Emerging technologies for diagnosis of dental caries: The road so far. *J Appl Phys.* 2009;105(10):102047-102047-9.
- Ana PA, Bachmann L, Zezell DM. Lasers effects on enamel for caries prevention. *Laser Phys.* 2006;16(5):865.
- Anceaux C. Les différents moyens de diagnostic des caries proximales.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Nancy]: Université Henri Poincaré Nancy 1-Faculté d'Odontologie; 2011.
- Anegundi RT, Patil SB, Tegginmani V, Shetty SD. A comparative microbiological study to assess caries excavation by conventional rotary method and a chemo-mechanical method. *Contemp Clin Dent.* 2012;3(4):388.
- Attal J-P, Atlan A, Denis M, Vennat E, Tirlet G. White spots on enamel: Treatment protocol by superficial or deep infiltration (part 2). *Int Orthod.* 2014;12(1):1-31.
- Badet C. Étude clinique de la carie. *Encycl Med Chir-Médecine buccale.* 2011;[28-170-C-10]:1-7.
- 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 : Chirurgie dentaire]. [Brest]: UFR d'Odontologie de Brest; 2012.
- Banerjee A, Thompson ID, Watson TF. Minimally invasive caries removal using bio-active glass air-abrasion. *Journal of Dentistry.* 2011;39(1):2-7.
- Banerjee A, Watson TF, Kidd EAM. Dentine caries excavation: a review of current clinical techniques. *Br Dent J.* 2000;188(9):476-82.

Baysan A, Whiley RA, Lynch E. Antimicrobial Effect of a Novel Ozone-Generating Device on Micro-Organisms Associated with Primary Root Carious Lesions in vitro. *Caries Res.* 2000;34(6):498-501.

Berrocal MIL, González JMM, Rodríguez MD, Carriches CL. Sterilizing effects of the Erbium: Yag laser upon dental structures: an in vitro study. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2006;11:158-161.

Bertassoni LE, Marshall GW. Papain-gel degrades intact nonmineralized type I collagen fibrils. *Scanning.* 2009;31(6):253-258.

Beunard V. Odontologie conservatrice micro-invasive.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Nantes]: Université de Nantes; 2005.

Blanc G. Les appareils à ultrasons et les soins dentaires [Internet]. LE FIL DENTAIRE. 2008 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.lefildentaire.com/articles/pratique/ergonomie-materiel/les-appareils-a-ultrasons-et-les-soins-dentaires/>

Bourgeois DM, Roland E, Desfontaine J. Caries prevalence 1987-1998 in 12-year-olds in France. *Int Dent J.* 2004;54(4):193-200.

Bowen WH, Koo H. Biology of Streptococcus mutans-Derived Glucosyltransferases: Role in Extracellular Matrix Formation of Cariogenic Biofilms. *Caries Res.* 2011;45(1):69-86.

Bradshaw DJ, Lynch RJM. Diet and the microbial aetiology of dental caries: new paradigms. *Int Dent J.* 2013;63(2):64-72.

Bramoullé L. Techniques micro-invasives en Odontologie conservatrice. Indications et analyse critique de la littérature.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Nantes]: Université de Nantes; 2014.

Capelle A. Le processus carieux [Internet]. 2015 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <https://slideplayer.fr/slide/3759433/>

Cardoso MV, Coutinho E, Ermis RB, Poitevin A, Van Landuyt K, De Munck J, et al. Influence of dentin cavity surface finishing on micro-tensile bond strength of adhesives. *Dent Mater.* 2008;24(4):492-501.

Carvalho C augusto r., Fagundes T c., Barata T j. e., Trava-airoldi vladimir jesus, Navarro M fidela I. The Use of CVD Diamond Burs for Ultraconservative Cavity Preparations: A Report of Two Cases. *J Esthet Restor Dent.* 2007;19(1):19-29.

Carvalho RC de, De Freitas PM, Otsuki M, de Eduardo CP, Tagami J. Micro-shear bond strength of Er: YAG-laser-treated dentin. *Lasers Med Sci.* 2008;23(2):117-124.

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. *Journal of Dentistry.* 2003;31(6):429-35.

- Chala S, Bouamara R, Abdallaoui F, ANTOUN Z. Les méthodes de diagnostic des lésions carieuses initiales. *Rev Odontostomatol*. 2004;33(4):297–310.
- Chaumeton G. Chap. N° 01 Ondes et particules. [Internet]. 2012 [cité 25 juin 2018]. Disponible sur: <http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/scphysiques2010/tsph01.htm>
- Chen Y-L, Chang H-H, Chiang Y-C, Lin C-P. Application and development of ultrasonics in dentistry. *J Formos Med Assoc*. 2013;112(11):659-65.
- Cieplik F, Buchalla W, Hellwig E, Al-Ahmad A, Hiller K-A, Maisch T, et al. Antimicrobial photodynamic therapy as an adjunct for treatment of deep carious lesions—A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2017;18:54-62.
- Da Silva MA. Influence of CVD Diamond Tips and Er:YAG Laser Irradiation on Bonding of Different Adhesive Systems to Dentin. Patil S, éditeur. *J Contemp Dent Pract*. 2013;14(1):14-20.
- Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 1. A review of studies in support of a philosophy of Minimum Intervention Dentistry. *Aust Dent J*. 1992;37(2):126-32.
- Decup F, Lasfargues J-J. Préparations et restaurations adhésives a minima. Apport des techniques sono-abrasives. *Real Clin*. 2012;23(3):201-13.
- Degrange M, Pourreyron L. Les systèmes adhésifs amélo-dentaires [Internet]. 2009 [cité 20 sept 2018]. Disponible sur: <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap12/site/html/cours.pdf>
- Dentodontics. G.V. BLACK'S CLASSIFICATION OF CARIES [Internet]. 2015 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <https://dentodontics.com/2015/02/26/g-v-blacks-classification-of-carious-lesions/>
- Diniz MB, de Almeida Rodrigues J, Lussi A. Traditional and novel caries detection methods. In: *Contemporary approach to dental caries*. InTech; 2012. p. 105-28.
- Doméjean S, Tassery H, Muller-Bolla M. Maladie carieuse et intervention minimale. *Encycl Med Chir-Médecine buccale*. 2017;[28-171-A-10]:1-6.
- Dure-Molla M de L, Artaud C, Naulin-lfi C. Approches diagnostiques des lésions carieuses. *Encycl Med Chir-Médecine buccale*. 2016;[28-110-Q-10]:1-8.
- Ellis R, Bennani V, Purton D, Chandler N, Lowe B. The Effect of Ultrasonic Instruments on the Quality of Preparation Margins and Bonding to Dentin: Ultrasonic instruments' effect on dentin. *J Esthet Restor Dent*. 2012;24(4):278-85.
- Estrade D. Des fraises boules en céramique pour enlever la carie [Internet]. *Information dentaire*. 2011 [cité 19 sept 2018]. Disponible sur: [http://cms.kometdental.de/fileadmin/user\\_upload/presse/Revue\\_de\\_Presse/Fevrier\\_2011/Quiz\\_fraises\\_boules\\_ceramique.pdf](http://cms.kometdental.de/fileadmin/user_upload/presse/Revue_de_Presse/Fevrier_2011/Quiz_fraises_boules_ceramique.pdf)
- Etienne O, Toledano C. Dentisterie à minima et cavités tunnelliées [Internet]. *LE FIL DENTAIRE*. 2013 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur:

<https://www.lefildentaire.com/articles/clinique/esthetique/dentisterie-a-minima-et-cavites-tunnellisees/>

Fekir M, Bakhti S, Benrekia B, Ait-kaci-ali T. Etude d'un échographe: GE Vivid 3N Proexpert [Internet]. Memoire Online. 2008 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: [https://www.memoireonline.com/03/13/7074/m\\_Etude-d-un-echographe-GE-Vivid-3N-Proexpert3.html](https://www.memoireonline.com/03/13/7074/m_Etude-d-un-echographe-GE-Vivid-3N-Proexpert3.html)

Ferrazzano GF, Ingenito A, Alcidì B, Sangianantoni G, Schiavone MG, Cantile T. In vitro performance of ultrasound enamel preparation compared with classical bur preparation on pit and fissure sealing. *Eur J Paediatr Dent*. 2017;18(4):263–267.

Fotona. LightWalker® [Internet]. s.d. [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.fotona.com/en/products/2024/lightwalker-line/>

Gagnot G. Les ultrasons en odontologie. Applications thérapeutiques. Rueil-Malmaison: Cdp; 2008.

Gheck V. Évolution des concepts thérapeutiques en dentisterie restauratrice.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Rennes]: Université de Rennes 1; 2002.

Guéders A, Geerts S. L'ozone: une alternative au traitement chirurgical de la carie ? *Actualités Dentaires de l'Université de Liège*. 2007;37:27-33.

Gugnani N, Pandit I, Srivastava N, Gupta M, Gugnani S. Light induced fluorescence evaluation: A novel concept for caries diagnosis and excavation. *J Conserv Dent*. 2011;14(4):418-22.

Hamama H, Yiu C, Burrow M. Current update of chemomechanical caries removal methods. *Aust Dent J*. 2014;59(4):446-56.

Hassan AF, Yadav G, Tripathi AM, Mehrotra M, Saha S, Garg N. A Comparative Evaluation of the Efficacy of Different Caries Excavation Techniques in reducing the Cariogenic Flora: An in vivo Study. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2016;9(3):214-7.

Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med*. 1989;9(4):338-44.

Holmgren C, Roux D, Domejean S. Traitement restaurateur atraumatique (ART) Une approche a minima de la prise en charge des lésions carieuses. *Real Clin*. 2011;22(3):245-56.

Horne P, Bennani V, Chandler N, Purton D. Ultrasonic Margin Preparation for Fixed Prosthodontics: A Pilot Study: Ultrasonic margin preparation. *J Esthet Restor Dent*. 2012;24(3):201-9.

Huysmans M-CDNJM, Longbottom C, Pitts NB, Los P, Bruce PG. Impedance Spectroscopy of Teeth with and without Approximal Caries Lesions—an in vitro Study. *J Dent Res*. 1996;75(11):1871-8.

- Jan J, Wan Bakar WZ, Mathews SM, Okoye LO, Ehler BR, Loudon C, et al. Proximal caries lesion detection using the Canary Caries Detection System: an *in vitro* study. *J Investig Clin Dent*. 2016;7(4):383-90.
- Karasiewicz A. La prise en charge des lésions carieuses débutantes.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Lille]: Université du droit et de la santé Lille 2; 2017.
- Kathuria V. Carisolv- An Innovative Method of Caries Removal. *J Clin Diagn Res*. 2013;7(12):3111-5.
- Kavo Dental. KaVo SONICflex™ Tips [Internet]. 2014 [cité 19 sept 2018]. Disponible sur: [http://go.kavo.com/hubfs/906.9203\\_rev01\\_1014SONICflex\\_Brochure\\_LR-1.pdf](http://go.kavo.com/hubfs/906.9203_rev01_1014SONICflex_Brochure_LR-1.pdf)
- Kavo Dental. RONDOflex™ plus 360 Appareil d'abrasion à l'air pour toutes les indications | KaVo Dental [Internet]. 2018 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <https://www.kavo.com/fr-fr/instruments-dentaires/rondoflex-plus-360-pour-vos-specialites>
- Kilinc E, Roshkind DM, Antonson SA, Antonson DE, Hardigan PC, Siegel SC, et al. Thermal safety of Er: YAG and Er, Cr: YSGG lasers in hard tissue removal. *Photomed Laser Surg*. 2009;27(4):565–570.
- Komet. Céramique de haute performance pour une excavation intuitive [Internet]. Excavation. 2014 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: [http://cms.kometdental.de/fileadmin/user\\_upload/410458.pdf](http://cms.kometdental.de/fileadmin/user_upload/410458.pdf)
- Konate A. Les différents moyens diagnostiques de détection des lésions carieuses.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Nantes]: Université de Nantes; 2014.
- Lasfargues J-J, Colon P. Lésions carieuses. In: *Odontologie conservatrice et restauratrice*. CdP. Rueil-Malmaison; 2010. p. 177-220.
- Lasfargues J-J, Louis J-J, Kaleka R. Classifications des lésions carieuses. De Black au concept actuel par sites et stades. *Encycl Med Chir-Médecine buccale*. 2016;[28-165-C-10]:1-18.
- Lees S, Barber FE, Lobene RR. Dental Enamel: Detection of Surface Changes by Ultrasound. *Science*. 1970;169(3952):1314-6.
- Leroy S. L'érosion-infiltration dans la prise en charge des lésions antérieures du MIH chez l'enfant: à propos de trois cas cliniques.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Lille]: Université du droit et de la santé Lille 2; 2016.
- Lima LM, Motisuki C, Santos-Pinto L dos, Santos-Pinto A dos, Corat EJ. Cutting characteristics of dental diamond burs made with CVD technology. *Braz Oral Res*. 2006;20(2):155-61.
- Longbottom C, Huysmans M-CDNJM. Electrical Measurements for Use in Caries Clinical Trials. *J Dent Res*. 2004;83(1 suppl):76-9.
- Lupi-Pégurier L, Bourgeois D, Muller-Bolla M. Épidémiologie de la carie. *Encycl Med Chir-Médecine buccale*. 2009;[28-155-C-10]:1-13.

- Lussi A. Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res.* 1991;25(4):296-303.
- Lussi A, Hibst R, Paulus R. DIAGNOdent: An Optical Method for Caries Detection. *J Dent Res.* 2004;83(1 suppl):80-3.
- Ma A. Chemomechanical Caries Removal: A Conservative and Pain-Free Approach. *Adv Res Gastroentero Hepatol.* 2017;5(3):1-3.
- Maiorana C, Grossi GB, Garramone RA, Manfredini R, Santoro F. Do ultrasonic dental scalers interfere with implantable cardioverter defibrillators? An in vivo investigation. *J Dent.* 2013;41(11):955–959.
- Mazière C. Prise en charge des lésions carieuses de classe II en micro-dentisterie.[Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Marseille]: Faculté d'Odontologie de Marseille; 2016.
- Mentouri A, Bakli N, Belgharbi I, Sid R. Eviction de la carie par une méthode non invasive : Le système Carisolv®. *Facmed.* 2016;4(1):31-5.
- Miller CS, Leonelli FM, Latham E. Selective interference with pacemaker activity by electrical dental devices. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1998;85(1):33–36.
- Millon C. Contribution à l'étude de procédés de réalisation de structures métal / PZT / métal sur silicium pour microsystèmes piézoélectriques [Internet] [These de doctorat]. [Lyon]: INSA-Lyon; 2003 [cité 2 oct 2018]. Disponible sur: <http://www.theses.fr/2003ISAL0029>
- Montedori A, Abraha I, Orso M, D'Errico PG, Pagano S, Lombardo G. Lasers for caries removal in deciduous and permanent teeth. *Cochrane Database of Syst Rev.* 2016;(9):CD010229.
- Morozova J. Methods of Caries Well-Timed Diagnostics X-ray Diagnostics in Dentistry Operative Dentistry [Internet]. s.d. [cité 20 sept 2018]. Disponible sur: <https://slideplayer.com/slide/3309486/>
- Mouton C, Robert J-C. Courbe de Stephan [Internet]. UNF3S. s.d. [cité 20 juin 2018]. Disponible sur: <http://www.unsof.org/media/bacterio/html/cours-N111C8-2.html>
- Muhammed G, Dayem R. Evaluation of the microleakage of different class V cavities prepared by using Er:YAG laser, ultrasonic device, and conventional rotary instruments with two dentin bonding systems (an in vitro study). *Lasers Med Sci.* 2015;30(3):969-75.
- Naute O. Les techniques d'éviction carieuse: mise au point en 2014.[Thèse d'exercice: Chirurgie dentaire]. [Toulouse]: Université Paul Sabatier-Toulouse 3 - Faculté de Chirurgie dentaire; 2014.
- Ntovas P, Doukoudakis S, Tzoutzas J, Lagouvardos P. Evidence provided for the use of oscillating instruments in restorative dentistry: A systematic review. *Eur J Dent.* 2017;11(2):268.

Oliveira MT de, Freitas PM de, Paula Eduardo C de, Ambrosano GMB, Giannini M. Influence of diamond sono-abrasion, air-abrasion and Er: YAG laser irradiation on bonding of different adhesive systems to dentin. *European journal of dentistry*. 2007;1(3):158.

Organisation Mondiale de la Santé. Etiologie et prévention de la carie dentaire [Internet]. 1972. Disponible sur: [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38778/WHO\\_TRS\\_494\\_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/38778/WHO_TRS_494_fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ortet S, Toca E, Tassery H. Apport des instruments soniques et ultrasoniques dans les préparations à visée esthétique. *L'information dentaire*. 2011;(19):16-24.

Oztas N, Alacam A, Bardakcy Y. The effect of air abrasion with two new bonding agents on composite repair. *Oper Dent*. 2003;28(2):149–154.

Panayotov I, Terrer E, Salehi H, Tassery H, Yachouh J, Cuisinier FJG, et al. In vitro investigation of fluorescence of carious dentin observed with a Soprolife® camera. *Clin Oral Invest*. 2013;17(3):757-63.

Paris S, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H. Resin infiltration of caries lesions: an efficacy randomized trial. *J Dent Res*. 2010;89(8):823–826.

Pereira Nogueira P, Cavalli V, Liporoni P, do Rego M. Hybrid Layer Width after Conventional Diamond, Carbide and Ultra-Sound CVD Burs. *J Clin Pediatr Dent*. 2012;37(1):53-7.

Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in Endodontics: A Review of the Literature. *J Endod*. 2007;33(2):81-95.

Pourhajibagher M, Beytollahi L, Ghorbanzadeh R, Bahador A. Analysis of glucosyltransferase gene expression of clinical isolates of *Streptococcus mutans* obtained from dental plaques in response to sub-lethal doses of photoactivated disinfection. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2018;24:75-81.

Pretty IA. Caries detection and diagnosis: Novel technologies. *J Dent*. 2006;34(10):727-39.

Quantum Dental Technologies. The Canary System [Internet]. 2018 [cité 27 sept 2018]. Disponible sur: <http://www.thecanarysystem.com/home.php>

Rainey JT. Air abrasion: an emerging standard of care in conservative operative dentistry. *Dent Clin North Am*. 2002;46(2):185-209.

Rickard GD, Richardson RJ, Johnson TM, McColl DC, Hooper L. Ozone therapy for the treatment of dental caries. *Cochrane Database of Syst Rev*. 2004;(3):CD004153.

Ricketts D, Clarkson J, Kidd E. Complete or ultraconservative removal of decayed tissue in unfilled teeth. *Cochrane Database of Syst Rev*. 2006;(3):CD003808.

Rochlen GK, Wolff MS. Technological Advances in Caries Diagnosis. *Dent Clin North Am*. 2011;55(3):441-52.

- Rosing CK, Cury AADB. Self-plagiarism in scientific journals: an emerging discussion. *Braz Oral Res.* 2013;27(6):451-2.
- Schneiderman A, Elbaum M, Shultz T, Keem S, Greenebaum M, Driller J. Assessment of Dental Caries with Digital Imaging Fiber-Optic Transillumination (DIFOTITM): In vitro Study. *Caries Res.* 1997;31(2):103-10.
- Schwendicke F, Dörfer CE, Schlattmann P, Page LF, Thomson WM, Paris S. Socioeconomic Inequality and Caries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Dent Res.* 2015;94(1):10-8.
- Séguier S, Le may O. Histopathologie de la lésion carieuse de l'émail et de la dentine. *Encycl Med Chir-Médecine buccale.* 2017;[23-010-C-10]:1-12.
- Seyrig T. L'apport des ultrasons en chirurgie orale, illustration clinique : l'extraction chirurgicale de la troisième molaire mandibulaire [Thèse d'exercice: Chirurgie dentaire]. [Nice]: Université Nice-Sophia Antipolis - Faculté de chirurgie dentaire; 2015.
- Shkarpetina A. La dentisterie micro-invasive : techniques et intérêts [Thèse d'exercice: Chirurgie dentaire]. [Nancy]: Université Henri Poincaré Nancy 1-Faculté d'Odontologie; 2016.
- Silva F. Dépôt chimique en phase vapeur. In: Conception et utilisation d'un réacteur à plasma de type industriel [Internet]. Grenoble: LPSC; 2011. Disponible sur: [http://plasmasfroids.cnrs.fr/IMG/pdf/Genie\\_chimique\\_Silva.pdf](http://plasmasfroids.cnrs.fr/IMG/pdf/Genie_chimique_Silva.pdf)
- Söchtig F, Hickel R, Kühnisch J. Caries detection and diagnostics with near-infrared light transillumination: Clinical experiences. *Quintessence Int.* 2014;45(6):531–538.
- Stookey GK. Optical Methods—Quantitative Light Fluorescence. *J Dent Res.* 2004;83(1 suppl):84-8.
- Takahashi N, Nyvad B. Ecological Hypothesis of Dentin and Root Caries. *Caries Res.* 2016;50(4):422-31.
- Tassery H, Levallois B, Terrer E, Manton D, Otsuki M, Koubi S, et al. Use of new minimum intervention dentistry technologies in caries management. *Aust Dent J.* 2013;58(1):40-59.
- Tassery H, Slinami A, Acquaviva M, Cautain C, Beverini MN, Terrer E. Méthodologie du diagnostic en cariologie. *Real Clin.* 2014;25(2):129-37.
- Tassery H, Victor J-L, Coudert G, Brouillet J-L, Koubi S. Dentisterie restauratrice a minima. *Encycl Med Chir-Médecine buccale.* 2008;[28-644-C-10].
- Timmerman MF, Menso L, Steinfort J, Winkelhoff AJV, Weijden GAVD. Atmospheric contamination during ultrasonic scaling. *J Clin Periodontol.* 2004;31(6):458-62.
- Tirlet G, Attal JP. L'érosion/infiltration: une nouvelle thérapeutique pour masquer les tâches blanches. *Inf Dent.* 2011;4:12–16.
- Toledano C. Indications des cavités tunnelliées à abord occlusal. *Inf Dent.* 2006;31:1847-53.
- Vaarkamp J, Bosch JJ ten, Verdonschot EH. Light propagation through teeth containing simulated caries lesions. *Phys Med Biol.* 1995;40(8):1375-87.

- Van der Weijden F. Le monde fascinant des ultrasons. Paris: Quintessence International; 2007.
- Vanderlei AD, Borges ALS, Cavalcanti BN, Rode SM. Ultrasonic versus high-speed cavity preparation: Analysis of increases in pulpal temperature and time to complete preparation. *J Prosthet Dent.* 2008;100(2):107-9.
- Vieira AR, Marazita ML, Goldstein-McHenry T. Genome-wide Scan Finds Suggestive Caries Loci. *J Dent Res.* 2008;87(5):435-9.
- Vieira ÁSB, Santos MPA dos, Antunes LAA, Primo LG, Maia LC. Preparation time and sealing effect of cavities prepared by an ultrasonic device and a high-speed diamond rotary cutting system. *J Oral Sci.* 2007;49(3):207-11.
- Villat C, Attal J-P, Brulat N, Decup F, Doméjean S, Dursun E, et al. One-step partial or complete caries removal and bonding with antibacterial or traditional self-etch adhesives: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2016;17(1):1-10.
- Vyas N. Imaging dental ultrasonic cavitation and its effects.[Thèse de doctorat]. [Birmingham]: Université de Birmingham; 2017.
- Vyas N, Dehghani H, Sammons RL, Wang QX, Leppinen DM, Walmsley AD. Imaging and analysis of individual cavitation microbubbles around dental ultrasonic scalers. *Ultrasonics.* 2017a;81:66-72.
- Vyas N, Sammons RL, Pikramenou Z, Palin WM, Dehghani H, Walmsley AD. Penetration of sub-micron particles into dentinal tubules using ultrasonic cavitation. *J Dent.* 2017b;56:112-20.
- Walmsley AD, Laird WRE, Williams AR. Dental plaque removal by cavitation activity during ultrasonic scaling. *J Clin Periodontol.* 1988;15(9):539–543.
- Weisrock G, Terrer E, Couderc G, Koubi S, Levallois B, Manton D, et al. Naturally aesthetic restorations and minimally invasive dentistry. *J Minim Interv Dent.* 2011;4(2):23–34.
- Yoshiyama M, Doi J, Nishitani Y, Itota T, Tay FR, Carvalho RM, et al. Bonding ability of adhesive resins to caries-affected and caries-infected dentin. *J Appl Oral Sci.* 2004;12(3):171-6.
- Zarembowitch A. Les ultrasons. Paris: Puf; 2003. (Que sais-je?).

**Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur, sans aucune approbation ou improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire.**

**GRANELLI Vincent. Apport des instruments ultrasonores en odontologie conservatrice : guide clinique. 2018. 63 p. : ill., graph., tabl. Réf. Biblio. : p 55-63.**

**Sous la direction de la Docteure Julia BOSCO**

**Th : Chir Dent. : Paris 7 : 2018**

---

**RESUME :**

Depuis les années 90, l'approche vis-à-vis de la maladie carieuse a considérablement évolué avec notamment l'émergence de nouveaux matériaux de détection et d'éviction dont les instruments ultrasoniques.

Ainsi, nous allons d'abord nous attacher, après avoir rappelé de manière succincte les connaissances actuelles par rapport à la maladie carieuse, détailler l'ensemble des moyens actuels de diagnostic et d'éviction carieuse.

Nous allons par la suite axer notre travail sur les instruments ultrasonores en odontologie conservatrice, s'inscrivant dans une dentisterie à minima, avec leur mode d'action, leurs propriétés et leur intérêt.

Une fiche clinique sera réalisée à destination des étudiants de Paris VII dans un objectif pédagogique et nous présenterons un cas clinique afin d'illustrer nos propos.

---

**TITRE en anglais : Ultrasonic instruments' contribution in operative dentistry : clinical guideline**

---

**DISCIPLINE :** Odontologie conservatrice

---

**MOTS-CLES Français :** ondes ultrasonores (FMeSH) ; caries dentaires (FMeSH) ; matériaux dentaires (FMeSH) ; dentisterie opératoire (FMeSH) ; dentisterie à minima ; microdentisterie.

---

**MOTS-CLES Anglais :** ultrasonic waves (MeSH) ; dental caries (MeSH) ; dental materials (MeSH) ; dentistry, operative (MeSH) ; ultraconservative dentistry ; microdentistry.